BAND 22 | SPEKTRUM DER LICHTTECHNIK

MAXIMILIAN BARTHEL

AUFMERKSAMKEITSLENKUNG MITHILFE INNENRAUMBELEUCHTUNG IM AUTOMOBIL





Maximilian Barthel

Aufmerksamkeitslenkung mithilfe Innenraumbeleuchtung im Automobil

SPEKTRUM DER LICHTTECHNIK BAND 22

Lichttechnisches Institut
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Aufmerksamkeitslenkung mithilfe Innenraumbeleuchtung im Automobil

von
Maximilian Barthel



Karlsruher Institut für Technologie
Lichttechnisches Institut

Aufmerksamkeitslenkung mithilfe
Innenraumbeleuchtung im Automobil

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs
von der KIT-Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) genehmigte Dissertation

von Maximilian Barthel

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 2019
Hauptreferent: Prof. Dr. rer. nat. Cornelius Neumann
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. sc. nat. habil. Christoph Schierz

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

www.ksp.kit.edu

Print on Demand 2020 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2195-1152
ISBN 978-3-7315-1011-6
DOI 10.5445/KSP/1000105573

DANKSAGUNG

Viele Menschen haben mich in meiner Bearbeitungszeit dieser Dissertation begleitet, diesen allen gebührt mein größter Dank.

An erster Stelle möchte ich meinen Dank Herrn Prof. Dr. rer. nat. Cornelius Neumann für seine stets freundschaftliche und fachlich hervorragende Rolle als meinen Doktorvater aussprechen. Durch seine offene und vertrauensvolle Art hat er wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Die fachlichen Diskussionen haben die Dissertation in die richtige Richtung gelenkt und mir bei der Fortführung der Arbeit immer sehr geholfen.

Herrn Prof Univ.-Prof. Dr. sc. nat. habil. Christoph Schierz möchte ich für die Übernahme des Korreferats danken.

Meinen lieben Kollegen danke ich für die stets hilfreichen Diskussionen, den fachlichen Rat und das gute Arbeitsklima. Hervorheben möchte ich hier die Unterabteilung Licht & Displays und alle Doktoranden der Abteilung Fahrerarbeitsplatz.

Weiterhin gilt mein Dank den stets hilfsbereiten Kollegen der Fahrsimulatoren und der Werkstatt. Eure Unterstützung hat das problemlose Durchführen der Probandenstudien möglich gemacht.

Den Korrekturlesern möchte ich ebenfalls für das aufmerksame Lesen meiner Dissertation und für die konstruktive Kritik danken.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Studenten Juliane, Nicole und Michael, die mit ihrem großen Engagement und ihrer Leidenschaft maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben. Der Arbeitsgruppe OTIA am Lichttechnischen Institut in Karlsruhe mit den Doktoranden Melanie und Patric sei ebenfalls ein großer Dank für die fachlichen und sehr hilfreichen Diskussionen ausgesprochen.

Ebenso danke ich meiner Freundin Sophie und allen anderen Freunden, die mich auf dem Weg zur Fertigstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Zuletzt danke ich meiner Familie, meinen Eltern Angela und Norbert sowie meiner Schwester Hanna-Sophie und meiner Oma Jutta für ihre grenzenlose Unterstützung und den nötigen Rückhalt.

Markkleeberg, Februar 2019 Maximilian Barthel

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

Das Ziel der automobilen Forschung und Entwicklung ist es, den Verkehr auf den Straßen immer sicherer zu gestalten. Die stetig steigende Zahl der Fahrzeuge im Straßenverkehr erhöht jedoch das Risiko von Verkehrsunfällen. Am 01.01.2018 waren allein in Deutschland 1,1 Millionen Fahrzeuge mehr zugelassen als ein Jahr zuvor. [1]

Die Erhöhung der Sicherheit wird in aktuellen Fahrzeugen zum großen Teil durch die Entwicklung und Verbesserung von Fahrerassistenzsystemen erreicht. Hierbei muss der automobilen Lichttechnik eine große Wichtigkeit zugewiesen werden. Sie ist eines der ältesten und wichtigsten Sicherheitssysteme im Fahrzeug, um aktiv Unfälle im Straßenverkehr, größtenteils in der Nacht, zu vermeiden.

Der Mensch nimmt den Großteil seiner Informationen visuell auf. [2] Diese Informationsaufnahme ist in der Nacht nur eingeschränkt möglich. Gründe dafür sind hier Informations- und Aufmerksamkeitsfehler und die Hell-Dunkel-Adaptation. RUMAR [3] geht in seiner Arbeit davon aus, dass Fahren in der Nacht zwei- bis dreimal gefährlicher

ist als am Tag, bezogen auf die gefahrenen Kilometer. Die mehr als drei Mal größere Wahrscheinlichkeit von tödlichen Unfällen in der Nacht beschreiben OWENS UND SIVAK [4] ebenfalls in ihrer Arbeit.

Genauer werden die Gründe für Unfälle in den Unfallanalysen ersichtlich. Ein großer Teil der Verkehrsunfälle ist hier auf Informations- und Aufmerksamkeitsfehler zurückzuführen. Eine Analyse von BROWN [5] gibt an, dass 46 % von 1999 protokollierten Unfällen in einer Untersuchung auf die Kategorie Unaufmerksamkeit zurückzuführen sind. NEALE ET AL [6] beschreiben in der 100-car-Studie, dass 80 % der Unfälle und 65 % der Beinaheunfälle auf Unaufmerksamkeit zurückzuführen sind. Diese Unaufmerksamkeit kommt sehr häufig durch Ablenkung mit einer Nebenaufgabe zustande, so dass der Blick während einer Fahrt immer wieder zwischen Fahraufgabe und Nebenaufgabe hin und her wechselt. [7] GRÜNDEL und GELAU [8, 9] beschreiben gleichermaßen die hohe Anzahl an Unfällen durch Informationsfehler, welche beispielsweise schlechte Lichtverhältnisse, Verdeckung der Information oder verminderte Aufmerksamkeit sein können. LORENZ [10] kommt zu dem Schluss, dass die Informationsfehler durch Fahrerassistenzsysteme verhindert werden können, welche die Aufmerksamkeit gezielt durch entsprechende Warnstrategien auf die Gefahr lenken.

Einen wichtigen physiologischen Grund, welcher für die schwierigere Wahrnehmung bei Nacht verantwortlich ist, erläutert HEINRICH [11] in seiner Arbeit. Die Wahrnehmungsbeeinträchtigung liegt an der Hell-Dunkel-Adaptation des menschlichen Auges. Die Zeit,

welche das Auge für die Anpassung an das neue Lichtszenario benötigt, beeinflusst die Wahrnehmung im Straßenverkehr stark.

HILLS [12] erläutert in seiner Arbeit als einen weiteren Grund die fehlende Adaptation des Fahrverhaltens an die aktuellen Sichtverhältnisse. Untersuchungen zeigen, dass Fahrer ihre Geschwindigkeit kaum oder gar nicht reduziert haben und das obwohl sie bei schlechten Bedingungen, also Dunkelheit, unübersichtlichen Straßen oder schlechten Wetterverhältnissen unterwegs waren.

BARHAM ET AL [13] beschrieben mehrere Gründe für die eingeschränkte Informationsaufnahme bei Nacht. Zum Beispiel die geringere Sehschärfe in der Dunkelheit, welche für eine geringere Detailwahrnehmung und Erkennensdistanz verantwortlich ist. Dies hat zur Folge, dass Hindernisse auf der Fahrbahn später erkannt werden. Zum anderen verändert sich das Blickverhalten von der Fahrt bei Tag zur nächtlichen Fahrt, so dass es zu kürzeren Fixationsdistanzen, zu längeren Fixationszeiten und zu einem geringeren Streubereich bei seitlichen Fixationen auf die Straße kommt.

Lichtsysteme im Exterieur werden seit geraumer Zeit intensiv verbessert. So wurde bisher die reduzierte Informationsaufnahme bei Nacht größtenteils mit neuen Scheinwerfertechnologien in Verbindung mit Lichtassistenzsystemen verbessert. Das Potenzial dieser Systeme ist gut genutzt und deren Funktion ist gegeben. Zur weiteren Reduzierung der Unfallzahlen ist es wichtig, die Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen voranzutreiben. Hierbei ist es auch die Innenraumbeleuchtung in Fahrzeugen, welche für eine neue Anzeigemodalität herangezogen werden kann.

Lichtsysteme im Interieur des Fahrzeugs werden aktuell noch zu wenig in der Forschung bearbeitet. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die vorhandene ambiente Innenraumbeleuchtung in den Fahrzeugen zu nutzen, um dem Fahrer einen erhöhten Sicherheits- und Funktionsgewinn zur Verfügung zu stellen. Durch den Einbezug der peripheren Wahrnehmung des menschlichen Auges soll eine effektive neue Anzeigemodalität entwickelt und für zukünftige Fahrerassistenzsysteme genutzt werden.

Zur Verbesserung der Sicherheit in Fahrzeugen müssen die genannten Fakten Berücksichtigung finden und Einfluss auf die Entwicklung der Fahrerassistenzsysteme haben. Systeme in Fahrzeugen, welche die Physiologie des Fahrers beeinflussen können, müssen wissenschaftlich untersucht werden. Die Lichttechnik, besonders die Lichttechnik im Interieur, ist ein Bereich der Automobilentwicklung mit viel Forschungspotential. Zur Untersuchung dieser Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine sind Probandenstudien das beste Mittel. Diese Untersuchungen sind essentiell in der Entwicklungszeit einer funktionierenden und vom Fahrer akzeptierten neuartigen Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung.

1.2 ZIELSTELLUNG DER ARBEIT

Zur Vermeidung der im vorangegangenen Unterkapitel beschriebenen hohen Unfallzahlen und zur Verbesserung der nächtlichen Wahrnehmung in Fahrzeugen ist die Zielstellung dieser Arbeit, die Entwicklung eines neuartigen Warn- und Informationssystems. Die

Wahrnehmungs- und Informationsfehler des Fahrers sollen schon in der frühen Phase einer kritischen Verkehrssituation vermieden werden. Gleichermaßen ist es auch das Ziel, die Unaufmerksamkeit, hervorgerufen durch Nebenaufgaben, durch die Aufmerksamkeitslenkung der ambienten Innenraumbeleuchtung zu verhindern. Das Lichtsystem soll den Blick des Fahrers richtungsabhängig lenken und mit der zusätzlichen Funktionalität in der ambienten Innenraumbeleuchtung die Wahrnehmung noch weiter verbessern.

Für die Lichtfunktion werden Konzepte und Untersuchungen für zwei Anwendungsfälle ausgearbeitet. Dies sind manuell gefahrene Fahrzeuge und zukünftig automatisch fahrende Fahrzeuge. Das Ziel der Lichtfunktion unterscheidet sich zwischen diesen beiden Fällen.

In der manuellen Fahrt soll die Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung zur neuartigen Anzeigemodalität für Fahrerassistenzsysteme im Längsverkehr genutzt werden und so zur Kollisionsvermeidung beitragen. Durch die ambiente Beleuchtung wird der Fahrer frühzeitig auf Hindernisse aufmerksam gemacht. Durch die peripher sichtbare Lichtwarnung soll eine frühzeitige Warnung richtungsverortend 180° um den Fahrer möglich sein und so die erste visuelle Anzeigemodalität eines Fahrerassistenzsystems mit einer richtungsverortenden Komponente entwickelt werden.

Im Kontext des hochautomatischen Fahrens spielen Fahrerassistenzsysteme eine untergeordnete Rolle. Hier wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug in der Lage ist, ausgewählte Fahrsituationen selbstständig zu regeln. Die Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung soll in diesem Umfeld zur Vertrauensförderung

zum automatisch fahrenden Fahrzeug genutzt werden. Es ist das Ziel, die automatische Fahrfunktion und deren Manöver dem Fahrer transparent zu vermitteln. Das Vertrauen in komplexe und für den Menschen unübersichtliche Fahrmanöver soll erhöht werden. Bei der Vertrauensförderung zur automatischen Fahrfunktion ist die Zielstellung, dass das fälschliche und eigentlich nicht notwendige Eingreifen des Fahrers und damit die Übernahme des automatischen Fahrzeugs vermieden werden. Eine Darstellung des umgebenden Verkehrs durch das ambiente Licht soll hier die Transparenz zur Technik erhöhen.

Zusammenfassend ist das Ziel der Forschungsarbeit, mit der vorhandenen ambienten Innenraumbeleuchtung einen Mehrwert zu entwickeln und diese Innenraumbeleuchtung mit neuen Funktionen und Aufgaben zu erweitern. Durch die Erweiterung in der ambienten Beleuchtung soll die Wahrnehmung des Fahrers weiter verbessert werden. Diese Umsetzung soll eine realistische und umsetzbare Lösung für die Fahrzeugentwicklung darstellen.

1.3 STRUKTURELLER AUFBAU

Zu Beginn erfolgt in Kapitel zwei eine Erläuterung der Grundlagen der Wahrnehmung. In diesem Kapitel werden die Grundlagen, welche später in der Entwicklung der Lichtfunktion von Bedeutung sind, beschrieben.

Darauffolgend wird in Kapitel drei der aktuelle Stand der Technik der ambienten Innenraumbeleuchtung und der automatisch fahrenden Fahrzeuge erläutert. Es werden mithilfe vorangegangener Forschungsarbeiten zur ambienten Innenraumbeleuchtung Verknüpfungen zu dieser Arbeit hergestellt. Der zweite Teil des Kapitels beschreibt die notwendigen Grundlagen und den aktuellen Stand der Technik zu automatisch fahrenden Fahrzeugen.

Das Kapitel vier fasst die Konzeptarbeit an der Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung und die gleichzeitigen Untersuchungen an Probanden zusammen. Die Entwicklung der Lichtfunktion wird in drei iterativen Entwicklungsschleifen beschrieben und so in chronologischer Reihenfolge vorgestellt. Zu Beginn der Entwicklung werden die Annahmen zu den möglichen Lichtänderungen aus der Literatur abgeleitet und in einer ersten Studie A untersucht. Aufbauend auf den Erkenntnissen wird in Studie B eine genauere Untersuchung der zu nutzenden Leuchtdichten abgeleitet. Aufgrund dieser Grundlagenuntersuchungen beginnt das Unterkapitel von Studie C mit einer ersten tiefgreifenden Konzeptentwicklung für die aufmerksamkeitslenkende Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung. Aus dieser Simulatorstudie werden wichtige Erkenntnisse zur Entwicklung der Lichtfunktion abgeleitet. In der darauffolgenden Realfahrtstudie wird eine Anpassung der Konzepte vorgenommen und ein Warnkonzept vorgestellt. Daraufhin wird eine Überprüfung in einem manuellen Fahrszenario im Realfahrzeug mit der neuentwickelten Lichtfunktion vorgestellt und über deren Wirkungsweise berichtet.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit werden im Kapitel fünf zusammenfassend dargestellt und ein Ausblick abgeleitet.



Kapitel 2

GRUNDLAGEN DER WAHRNEHMUNG

Das Gesichtsfeld ist immer nur ein begrenzter Ausschnitt aus der aktuellen optischen Situation der Umgebung. Ein Lebewesen agiert und reagiert in dieser Umgebung aufgrund von Sinneswahrnehmungen. Beim Menschen spielt dabei das visuelle Sinnessystem die größte Rolle, über dieses System erfolgt der Großteil der Wahrnehmung. Im folgenden Grundlagenkapitel wird der optische Wahrnehmungsprozess weiter beschrieben sowie auf die periphere Wahrnehmung und auf die selektive Aufmerksamkeit eingegangen. Dabei beschreibt diese Arbeit einzig die wichtigsten Grundlagen der Wahrnehmung, detailliertere Informationen sind in den angegebenen Quellen nachzulesen. [14]

2.1 VISUELLES SYSTEM

Die Sinnesorgane definieren sich jeweils durch die Stufen Modalität, Qualität und Quantität. Der optische Wahrnehmungsprozess ist an erster Stelle an das Auge gebunden. Die Reizverarbeitung auf der Stufe der Qualität erfolgt durch spezielle Sensoren. Im Auge sind das die Stäbchen und Zapfen, welche nur auf den sichtbaren Spektralbe-

reich des Lichtes reagieren. Die Stufe der Quantität entspricht der Intensität der Lichtempfindung. Für das visuelle System sind die Modalität Sehen, die Qualität Licht und die Quantität Lichtempfinden von Bedeutung, siehe dazu Abbildung 2.1. Weiterführende Grundlagen zur visuellen Wahrnehmung und zur Informationsaufnahme, siehe BARTENBACH UND WITTING. [14]

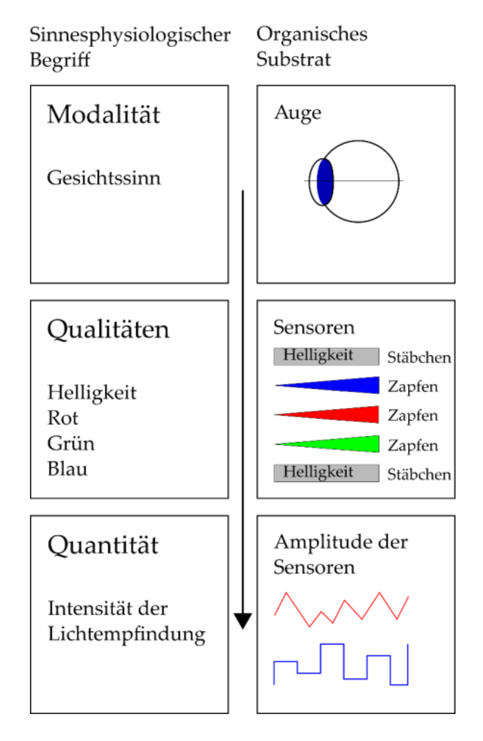


Abbildung 2.1: Definition des visuellen Systems über die Stufen der Modalität, der Qualität und der Quantität (in Anlehnung an [14])

Für den Gesichtssinn muss nicht nur der Teil des physiologischen „Sehens“, des Auges zur Reizaufnahme, sondern der ganze optische

Analysator betrachtet werden. Dazu zählen auch die Nervenbahnen, die Schaltstellen und das Großhirn zur Verarbeitung und Empfindung der Reize. Dieser zweite Teil der Wahrnehmung wird mit dem Begriff des psychologischen „Sehens“ beschrieben. Zur Beschreibung der drei Stufen des Sehens, siehe Abbildung 2.2. [2, 14]

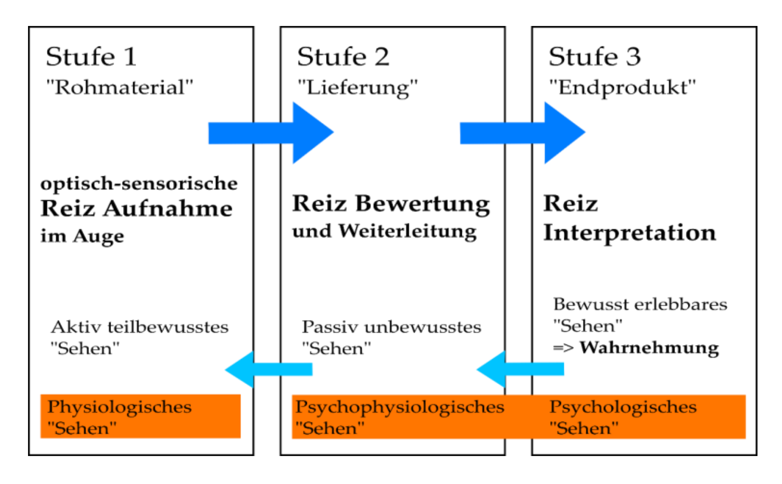


Abbildung 2.2: Definition des visuellen Systems über die drei Stufen des Sehens und der Weg eines Reizes im Auge bis zur bewussten Wahrnehmung (in Anlehnung an [15])

2.2 PERIPHERE WAHRNEHMUNG UND REZEPTIVE FELDER

Die Grundlage der lokalisierten Helligkeitsempfindung und Farbempfindung bilden photochemische und elektrophysikalische Vorgänge der Erregung des Sehnervs. Diese Erregung wird in den Empfängerelementen umgesetzt, welche sich, wie in Abbildung 2.3

dargestellt, ungleichmäßig über die Netzhaut verteilen. Das Themengebiet der peripheren Wahrnehmung spielt in dieser Forschungsarbeit eine entscheidende Rolle, weshalb nachfolgend noch näher auf die Grundlagen eingegangen wird.

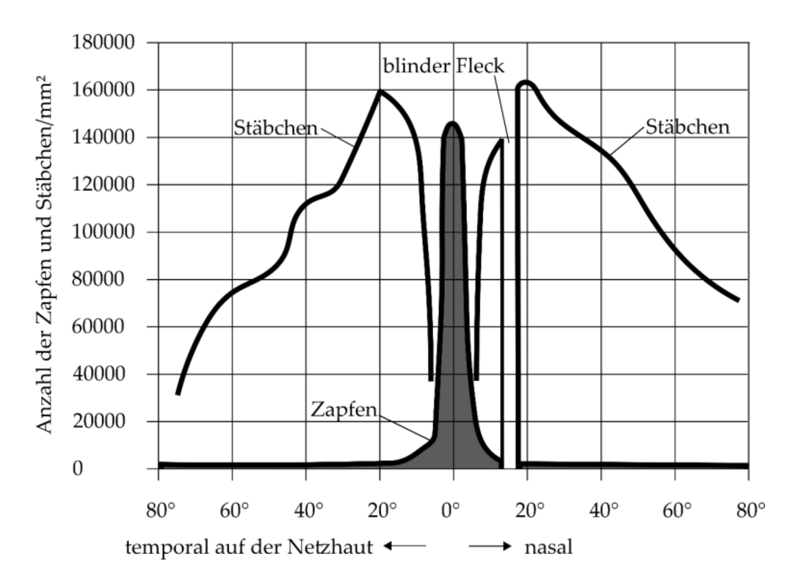


Abbildung 2.3: Verteilung der Sehzellen auf der Netzhaut nach **ØSTERBERG** und PIRENNE (in Anlehnung an [16])

In Abbildung 2.3 ist die Dichte der beiden Empfängertypen, in Relation zur horizontalen Augenachse, vereinfacht dargestellt. Die Mitte der Netzhaut wird mit einem Durchmesser von 0,25 mm angegeben. In diesem Bereich befinden sich einige Tausend Zapfen, welche einen Durchmesser von circa 1,5 µm haben. Der Sehwinkel ist etwa 54‘ (0,9°) groß. Die Schaltzellen der in diesem Bereich befindlichen

Zapfen liegen außerhalb in einem Wall, dadurch ist die hohe Konzentration an Zapfen möglich und dieser Bereich ist somit dünner. Die Konzentration der Zapfen ist hier regelmäßig bei 150.000 je mm². Der Bereich wird auch als Fovea centralis, Netzhautgrube oder der Punkt des schärfsten Sehens in der Literatur beschrieben. Dahingegen ist die Dichte der Zapfen bei einer Exzentrizität von 10° zur Augenachse nur circa 5000 je mm². [15 bis 17]

Die für das Helligkeitssehen verantwortlichen Stäbchen befinden sich außerhalb der Fovea, wobei die Anzahl schnell auf bis zu 160.000 je mm² ansteigt. Im Gegensatz zu den Zapfen, welche in ihrer Größe nach außen hinzunehmen, ändern sich die Stäbchen nahezu nicht in ihrer Größe. Nach ØSTERBERG [18] befinden sich auf der Netzhaut etwa $6{,}5 \cdot 10^6$ Zapfen und 100 bis $125 \cdot 10^6$ Stäbchen. Die Anzahl der dazugehörigen Sehnervenfasern ist allerdings nur 10^6, so müssen vor allem in den peripheren Bereichen der Netzhaut mehrere Empfängerelemente auf eine Nervenfaser einwirken. Im Gegensatz dazu ist in der Fovea ein Empfängerelement (Zapfen) auf ein bis maximal drei Bipolarzellen geschaltet. [15, 17, 19]

AHMED [20] teilt das periphere Gesichtsfeld in vier Zonen auf. Die nahe Peripherie ist ein 1,5 mm weiter Bereich um die Makula (gelber Fleck), der zentrale Bereich im Auge, welcher sich um die Fovea centralis ergibt. Die mittlere Peripherie schließt sich daran mit einer zirkulären Breite von 3 mm an. In diesem Bereich gibt es größere Zapfen, wobei die Zapfen immer von mindestens drei Stäbchen voneinander getrennt sind. Als dritter Teil wird ein 9 – 10 mm breiter

temporaler Bereich und ein 16 mm breiter nasaler Bereich beschrieben, welcher weit entfernte Ganglienzellen und eine stark reduzierte Anzahl an Zapfen aufweist. Der vierte Teil der Einteilung ist die Ora Serrata , ein 2 mm breiter temporaler Bereich und 0,7 mm nasaler Bereich. Diese stellt den Übergang von der Retina zum Ciliarkörper und zur Iris dar. In diesem Bereich befinden sich schrittweise keine Stäbchen mehr und diese werden durch missgebildete Zapfen ersetzt. 0,5 mm vor dem Ende der Retina sind keine Zapfen, Stäbchen, Ganglienzellen oder Nervenfasern mehr vorhanden. [21]

Für diese Forschungsarbeit wird zwischen dem primären und peripheren Sichtbereich unterschieden.

Der Sehnerv verlässt das Auge auf der Rückseite des Auges und enthält circa eine Million Nervenfasern. HARTLINE [22] fand in einer Forschungsarbeit die Existenz von rezeptiven Feldern heraus. Er hat einen einzelnen Sehnerv freigelegt und Messungen während des Beleuchtens der Retina vorgenommen. Ein einzelner Sehnerv reagierte dabei nur, wenn ein ganz bestimmter Bereich der Retina beleuchtet wurde. Er nannte diesen Bereich rezeptives Feld. Die rezeptiven Felder nehmen immer eine größere Fläche als die beinhaltenden Stäbchen und Zapfen ein. Eine Faser bekommt also von hunderten oder tausenden Rezeptoren Signale. Weiterhin fand er heraus, dass sich die rezeptiven Felder einzelner Fasern gegenseitig in Teilen überlappen. Licht, welches auf einen Punkt der Retina fällt, aktiviert dadurch viele Fasern mehrerer Ganglienzellen.

Rezeptive Felder sind in ihrer Struktur unterschiedlich aufgeteilt. Das Zentrum rezeptiver Felder reagiert anders als das Umfeld des Zentrums. Die Feuerrate steigt, wenn ein Lichtreiz im erregenden Bereich (+) des rezeptiven Feldes präsentiert wird. Dagegen führt ein im hemmenden Bereich (-) präsentierter Lichtreiz zum Absenken der Feuerrate des rezeptiven Feldes, siehe Abbildung 2.4. [23 bis 25]

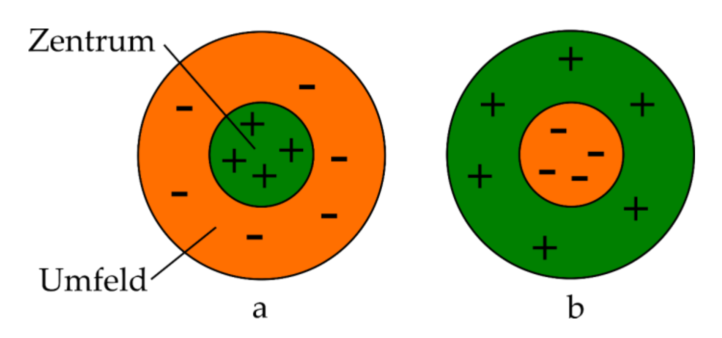


Abbildung 2.4: Zentrum-Umfeld-Struktur von rezeptiven Feldern, a = Erregung im Zentrum, b = Hemmung im Zentrum (in Anlehnung an [26])

Die Entdeckung des entgegengesetzten Antwortens des Zentrums und des Umfeldes machten eine Modifikation der Definition von HARTLINE [22] erforderlich. HUBEL UND WIESEL [24, 27, 28] haben dies später mit verschiedenen Untersuchungsmethoden fortgeführt und 1981 für ihre Forschungsarbeit im Bereich rezeptiver Felder den Nobelpreis für Medizin erhalten. Sie konnten verallgemeinern, dass durch die neuronale Verarbeitung Neuronen besser auf spezifische und unterschiedliche Lichtmuster reagieren. Sie beschreiben, dass es sowohl Zellen gibt, welche auf einfache stationäre Lichtpunkte reagierten (einfache Kortexzellen) als auch Zellen, die auf ausgerichtete bewegte Lichtbalken reagierten (komplexe Zellen). Ein dritter Typ

von Zellen (endinhibierte Zellen) reagierte auf bewegte Linien, bewegte Ecken oder bewegte Winkel. GOLDSTEIN [26] führt die Hintergründe der rezeptiven Felder in seinem Buch noch detaillierter aus.

2.3 SELEKTIVE AUFMERKSAMKEIT

Das Sinnessystem des Menschen verarbeitet permanent einen Informationsstrom, welcher mit aktivierten Gedächtnisinhalten eine Steuerung von Denkvermögen und die Interaktion mit unserer Umwelt und anderen Personen ermöglicht. Die große Fülle von Informationen, die gespeichert sind oder gerade durch die einzelnen Sinnesorgane aufgenommen werden, ist nur zum Teil für den aktuellen Denkprozess oder ein aktuelles Handeln erforderlich. Der Großteil der Sinnes- und Gedächtnisinformationen ist für das unmittelbare Handeln oder Denken irrelevant oder störend. Die Informationen müssen selektiert werden. Diese kognitiven Prozesse und Mechanismen zum Trennen von relevanten und irrelevanten Informationen werden zum Begriff der selektiven Aufmerksamkeit zusammengefasst. [26, 29 bis 31]

Eine Szene wird visuell abgetastet, da es auf der Retina nur eine Stelle des schärfsten Sehens gibt, die zapfenreiche Fovea. CHUN erforschte, dass das visuelle System ebenfalls selektieren muss, da es nur eine begrenzte Kapazität hat. Die Fovea ist auf einer Szene immer eine bestimmte Zeit lang auf einen Punkt fixiert, die Fixation. Im Anschluss daran erfolgt eine sakkadische Augenbewegung, eine kleine ruckartige Bewegung zur nächsten Fixation. Visuelles Abtasten erfolgt in

der Regel durch offene Aufmerksamkeit, hierbei wird der Blick gezielt auf ein Objekt gerichtet. Die Aufmerksamkeit kann hingegen auch auf Objekte außerhalb unseres Blickes gerichtet sein, dies nennt sich dann verdeckte Aufmerksamkeit. [26, 32]

Das Ausrichten der Aufmerksamkeit kann durch auffällige Reize oder durch Ziele und Absichten stattfinden. Für diese Forschungsarbeit ist das Lenken der Aufmerksamkeit durch Stimuli entscheidend und wird näher betrachtet, für weitere Grundlagenliteratur siehe: [26, 29 bis 31, 33].

Die Stimulussalienz bezieht sich auf sensorische Merkmale wie Kontrast, Farbe und Bewegung von Objekten, die „ins Auge springen“. Salienz leitet sich aus dem Lateinischen ab und bedeutet „springen“. Bei einer Stimulussalienz wird die Aufmerksamkeit unwillkürlich verschoben und es kann von Vereinnahmen oder dem Binden von Aufmerksamkeit gesprochen werden. Ausgelöst werden kann dies beispielsweise durch ein Geräusch oder einen Lichtblitz. Bei Warnungen, etwa von Fahrerassistenzsystemen im Fahrzeug, ist diese Fesselung der Aufmerksamkeit wichtig. Die Stimuli können in ihrer Salienz unterschieden werden. In dieser Arbeit wird die Grundlage der Aufmerksamkeitszuwendung durch Stimulussalienz mithilfe von Lichtsignalen genutzt. [26, 31, 33]

Kapitel 3

STAND DER TECHNIK

Folgender Stand der Technik ist für die Forschungsarbeit an ambienter funktionaler Innenraumbeleuchtung wichtig und trägt zum Verständnis der Forschungsthematik bei. Es wird auf die aktuelle Verwendung von ambienter Innenraumbeleuchtung und auf vorangegangene Forschungsarbeiten eingegangen. Im zweiten Unterkapitel wird ein Überblick über das Themengebiet des automatischen Fahrens gegeben.

3.1 AMBIENTE INNENRAUMBELEUCHTUNG

Innenraumbeleuchtung in Fahrzeugen lässt sich in Funktionsbeleuchtung und ambiente Innenraumbeleuchtung unterscheiden. Funktionsbeleuchtung erfüllt grundlegende Lichtfunktionen, ohne die das Fahrzeug in der Nacht nicht sicher fahrbar wäre, beispielsweise eine Instrumentenbeleuchtung für die Geschwindigkeit. [34 bis 36]

Ambiente Innenraumbeleuchtung ist im Gegensatz zur funktionalen Beleuchtung nicht zwingend für die nächtliche Fahrzeugführung erforderlich. Nachtfahrten können für den Fahrer durch ambiente Beleuchtung angenehmer gestaltet werden. Für diese Art der

Beleuchtung ist kein spezielles Regelwerk vorhanden. Die nächtliche Wahrnehmungsfähigkeit des Fahrzeugführers darf durch die Beleuchtung nicht negativ beeinflusst werden. Laut KÖTH [37] schränken die existierenden Gesetzesstellen zur Fahrzeugbeleuchtung die Entwicklung der ambienten Innenraumbeleuchtung nicht ein. Ambiente Beleuchtung macht es möglich, dem Fahrzeugführer eine in Farbe und Helligkeit individuelle dauerhafte Innenraumbeleuchtung anzubieten. [34 bis 36]

3.1.1 AKTUELLE FUNKTIONEN

Ambiente Innenraumbeleuchtung gehört nicht der Gruppe der Funktionsbeleuchtung an. Sie ist aus Design- und Individualisierungsansprüchen entstanden und in aktuellen Fahrzeugen sehr designorientiert. Das Ziel einer gut funktionierenden ambienten Innenraumbeleuchtung ist es, die Sicherheit, den Komfort und gleichzeitig den wertigen Eindruck des Fahrzeuginnenraumes zu erhöhen. Durch eine dauerhafte Beleuchtung im Fahrzeuginnenraum ist eine bessere Orientierung im Raum gegeben. Die Steigerung des Wohlfühlfaktors und die gänzliche Wahrnehmung des Interieurs ist eine weitere entscheidende Funktion. Ein beleuchtetes Fahrzeuginterieur lässt den Fahrzeuginnenraum spezifischer, strukturierter und großzügiger erscheinen. [34]

Durch diese Beleuchtung kommt es zu einer Reduktion des Kontrastes zwischen Fahrzeuginnenraum und Außenraum. Sie verbessert

den Adaptationsprozess des Auges und trägt damit zu einer Steigerung der Sehleistung bei, was wiederum zu einer geringeren Beeinflussung des Fahrers führt. [37, 38]

Eine erste Serienfunktion der ambienten Innenraumbeleuchtung zur Verbesserung der Sicherheit ist eine Ausstiegswarnung. Die Funktion warnt die Insassen des Fahrzeugs mithilfe einer roten Lichtwarnung in der Tür vor von hinten heranfahrenden Fahrzeugen. Die heranfahrenden Fahrzeuge werden vom Heckradar erfasst und die ambiente Beleuchtung in der Tür beginnt beim Betätigen des Türgriffs rot zu blinken.

Es zeigt sich in der Innenraumbeleuchtung eine fortlaufende Verschmelzung von Funktionsbeleuchtung und ambienter Beleuchtung und eine zunehmende Funktionalisierung der ambienten Beleuchtung.

3.1.2 LEUCHTDICHTEN BEI NACHTFAHRTEN

In der Entwicklung ambienter Innenraumbeleuchtung gilt es immer, negative Beeinflussungen des Fahrers durch diese zusätzliche Beleuchtung zu vermeiden. Die Leuchtdichten im Fahrzeug bei Nachtfahrten hängen stark von der jeweiligen Umwelt ab, in der sich das Fahrzeug bewegt. Eine Fahrt auf der Autobahn erzeugt gänzlich andere Leuchtdichten im Fahrzeuginnenraum als eine Fahrt durch eine Stadt mit ortsfester Straßenbeleuchtung. Einflussfaktoren sind beispielsweise ortsfeste Beleuchtung, andere Verkehrsteilnehmer oder der Straßentyp.

Ein sternklarer Nachthimmel erzeugt Leuchtdichten von circa 10^{-11} cd/m² bis 0,02 cd/m². Eine unbeleuchtete Fahrbahnoberfläche besitzt Leuchtdichten von 0,01 cd/m² bis 2cd/m², beleuchtete Straßen dagegen schon Leuchtdichten bis zu 5 cd/m². [39]

Zusammenfassend geht man in der weiteren Literatur typischerweise auf einer normalen unbeleuchteten Straße von 0,01 cd/m² bis 0,1 cd/m² und auf einer Straße mit Straßenbeleuchtung von einer Leuchtdichte von 0,1 cd/m² bis 5 cd/m² aus. [40 bis 43]

Die Leuchtdichten, welche von der Umgebungsbeleuchtung im Fahrzeuginterieur sichtbar sind, sind stark von deren Reflexionseigenschaften abhängig. Siehe dazu Messungen von CABERLETTI. [36]

Die bisher durchgeführten Untersuchungen zur ambienten Beleuchtung sind immer zu großflächiger ambienter Innenraumbeleuchtung ausgeführt worden, etwa von GRIMM [35] und WAMBSGANß. [44] Für diese großflächigen Beleuchtungen im Fahrzeuginterieur sind in den Untersuchungen sehr geringe Leuchtdichten von etwa 0,1 cd/m² als Grenzwert ermittelt worden. Nach Angaben von GRIMM [35] kann eine ambiente Innenraumbeleuchtung abhängig von deren Größe, Position und Farbe den Fahrer ablenken, wenn eine hiervon abhängige Leuchtdichteschwelle überschritten wird. Hierbei zeigte er ebenfalls, dass eine messbare Beeinflussung oberhalb einer Leuchtdichteschwelle liegt, welche von den Probanden als subjektiv unangenehm empfunden wird. Die ermittelten Leuchtdichten bei indirekter Ausleuchtung von Interieurbauteilen bei GRIMM [35] sind ebenfalls bei maximal 0,02 cd/m². Diese Leuchtdichten sind bei dem aktuell oft verwendeten direkten Lichtband nur bedingt anwendbar.

Für direkt strahlende dünne Lichtstreifen als Konturbeleuchtung in der ambienten Beleuchtung werden in Serienfahrzeugen Leuchtdichten von 1 bis 2 cd/m^2 genutzt.

3.1.3 EXKURS ANFORDERUNGEN DES TAGNIVEAUS

Sobald ambiente Innenraumbeleuchtung Lichtfunktionen zur Verbesserung der Sicherheit im Verkehr übernimmt, wird sogleich über die dauerhafte Verfügbarkeit einer solchen Funktion diskutiert. Im folgenden Unterkapitel werden die Herausforderungen des Tagniveaus beschrieben.

Ein sonniger Himmel besitzt eine Leuchtdichte von $5 \cdot 10^3$ bis $3 \cdot 10^4$ cd/m^2, ein Fußgänger bei Tag 20 bis 200 cd/m^2, ein Fahrzeug bei Tag 50 bis 500 cd/m^2 und eine Fahrbahnoberfläche bei Tag 10^2 bis 10^3 cd/m^2. Die Leuchtdichten am Tag sind um ein Vielfaches höher. Dies trifft auch auf die Materialien im Fahrzeug zu. [39]

Für eine erkennbare ambiente Innenraumbeleuchtung müsste diese von Nachtniveau auf Tagniveau heller werden, immer angepasst auf die Umfeldleuchtdichte. Die benötigten Leuchtdichten sind mit einer aktuell ausgelegten ambienten Beleuchtung nicht realisierbar. Diese Anforderung hätte eine komplette Neuentwicklung einer Warnleuchte zur Folge und ist somit keine integrierte Lösung einer erweiterten funktionalen ambienten Beleuchtung mehr. Die menschliche Wahrnehmung einer ambienten Innenraumbeleuchtung am Tag würde sich gänzlich von der nächtlichen Wahrnehmung unterschei-

den. Es ist mit anderen Ergebnissen in den Wahrnehmungsuntersuchungen zu rechnen. Weiterhin ist die menschliche Wahrnehmung der Umgebung beim Führen eines Fahrzeugs am Tag besser und benötigt wesentlich weniger Unterstützung als bei nächtlicher Fahrt. Da sich Grundlagen, Konzeption und Studien für Tagniveau grundsätzlich unterscheiden würden, wird dieses in dieser Forschungsarbeit nicht näher betrachtet und untersucht.

3.1.4 VORANGEGANGENE FORSCHUNGSARBEITEN

Thematisch ähnliche Forschungsarbeiten sollen im Folgenden kurz erläutert und kommentiert werden. Forschungsarbeiten, welche direkten Bezug zum wissenschaftlichen Kontext einer in dieser Arbeit durchgeführten Studie haben, werden zur Einordnung direkt in der jeweiligen Studie beschrieben.

MATVIIENKO ET AL. [45] stellt einen Überblick über existierende ambiente Lichtsysteme dar und unterteilt die Systeme in vier Gruppen der Informationsvermittlung. Er beschreibt weiterhin die Entwicklung der letzten Jahre zur vermehrten Entwicklung von Lichtsystemen zur unauffälligen Informationsvermittlung. Ebenso wird beschrieben, dass Informationen durch ambiente Lichtsysteme mit einfachen Grundlichtparametern übermittelt werden können. Die Informationen sind dadurch sehr einfach und schnell zu verstehen. Die Einteilung der Lichtsysteme wurde in die Grundlichtparameter Farbänderung, Helligkeitsänderung und Positionsänderung vorgenommen.

LORENZ [10] erläutert in seiner Arbeit eine Herangehensweise zur Entwicklung aufmerksamkeitslenkender Warn- und Informationskonzepte für Fahrerassistenzsysteme. In der Entwicklung der Warnmodalität wird eine Kombination von Bewegungsanimationen und akustischen Reflexionen genutzt. Das Warn- und Informationskonzept ist als Auffahr- und Spurwechselwarnung konzipiert worden. In seinen beschriebenen Fahrsimulatorstudien konnte er kürzere Bremsreaktionszeiten und eine verbesserte Vermeidung von Kollisionen mit Fahrzeugen im toten Winkel erreichen.

Ambiente Innenraumbeleuchtung in Kraftfahrzeugen betrachtet GRIMM [35] in einer Grundlagenuntersuchung. Die hier im Fahrzeug verbauten ambienten Beleuchtungen sind großflächige Ausleuchtungen des Interieurs. Berichtet wird von einer möglichen zunehmenden Störung des Fahrers durch ansteigende Leuchtdichten, hervorgerufen durch die ambiente Beleuchtung. Ein Ergebnis dieser Arbeit sind optimale Leuchtdichten für verschiedene Orte im Fahrzeug, ermittelt durch ein eigenes Bewertungsverfahren, gültig für die angenommene Fahrzeuggeometrie. Unter optimaler Anwendung der ambienten Beleuchtung verbessert sich das Adaptationsniveau des Fahrers, welches dann zu einem Reaktionszeitgewinn führt. Ebenso wird die Wichtigkeit der Anpassung der ambienten Beleuchtung an die unterschiedlichen Umgebungsleuchtdichten bekräftigt. Zusammenfassend aus den Untersuchungen wird die ambiente Beleuchtung in zukünftigen Fahrzeugkonzepten als Komfortmerkmal und Sicherheitsfeature beschrieben.

DZIENNUS ET AL. [46] arbeiten an einem 360° Fahrerinformationssystem für manuell und automatisch fahrende Fahrzeuge mithilfe von Lichtsystemen im Interieur. Das Ziel dieses Systems ist es, viele Informationen von verschiedenen Assistenzsystemen in einer Anzeige zu vereinen. In der beschriebenen Fahrsimulatorstudie konnte das getestete System den Fahrer bei verschiedenen Szenarien unterstützen. Die Autoren zeigen das große Potential des selbstentwickelten lichtbasierten Fahrerinformationssystems auf. DZIENNUS ET AL. [47] untersuchten ebenfalls die Eignung der von ihnen entworfenen LED Leiste zur Kommunikation des Automatisierungslevels des automatisch fahrenden Fahrzeugs mit in der Arbeit beschriebenen guten Ergebnissen. Das Lichtsystem in der Peripherie des Fahrers konnte diese Information zwischen assistierter und teilautomatischer Fahrt erfolgreich vermitteln.

LÖCKEN ET AL. [48, 49] beschreiben in ihrem Paper einen durchgeführten Workshop zum Thema adaptive ambiente Fahrzeugdisplays und Interaktionen. Sie beschreiben die sich immer weiter zuspitzende Konkurrenz der Assistenzsysteme um die Aufmerksamkeit des Fahrers. Ebenso die damit einhergehende Gefahr der Ablenkung des Fahrers von einer eigentlichen Fahraufgabe. Zwischen den Systemen gibt es verschiedene Prioritäten der Aufmerksamkeitsgewinnung. Die Autoren berichten, dass die ambienten Displays und die peripheren Informationen gut geeignet sind, um Informationen unaufdringlich dem Fahrer zur Verfügung zu stellen. Weiterhin sind sie aber auch gut geeignet, um die Fahreraufmerksamkeit gezielt zu lenken, wenn dies nötig ist.

CABERLETTI [36] untersucht die Wahrnehmung und die emotionale Bewertung einer ambienten Beleuchtung in einem Fahrzeug aus Fahrerperspektive. Er führte zwei Laborstudien und eine Studie im realen Fahrzeug im Fahrbetrieb durch. Die Helligkeit, die Farbe und die Position beeinflussen signifikant die Wahrnehmung der ambienten Beleuchtung. Er unterteilte die Wahrnehmung in seinen Ergebnissen in drei unabhängige Kategorien: in Wertigkeit und Attraktivität, in Raumwahrnehmung und Orientierung sowie in Sicherheit und Aufmerksamkeit. Anhand dieser Kriterien bewertet er die ambiente Beleuchtung. Als Ergebnisse hält er in seiner Arbeit im Allgemeinen fest, dass die ambiente Beleuchtung einen sehr hohen Einfluss auf die Wahrnehmung des Fahrers hat. Diese Wahrnehmung wird nicht verbessert, wenn höhere Leuchtdichten genutzt werden oder die Anzahl der Leuchten vergrößert wird. Die Wahrnehmung des Fahrzeuginterieurs verbessert sich ebenfalls durch die ambiente Beleuchtung wesentlich. Die von ihm gemessenen Leuchtdichten vergleicht er mit weiteren Autoren, der Wertebereich seiner gemessenen Werte passt zu denen der anderen Autoren. Er beschreibt aber auch, dass die Messwerte oft auf sehr unterschiedliche Gegebenheiten des Fahrzeugs und der Beleuchtung zurückzuführen sind. Die Farbe der ambienten Beleuchtung beeinflusst ebenso die Wahrnehmung des Fahrers, wobei es hierfür folgende Ursachen gibt. Jede Farbe wird in einer anderen Intensität wahrgenommen, das Gesichtsfeld für die Farben ist unterschiedlich, Farben haben eine emotionale Interpretation und schlussendlich auch die unterschiedliche Reflexion der im Fahrzeug verwendeten Materialien.

KIENAST ET AL. [50] forschen zur Aufmerksamkeitssteuerung durch räumlich gerichtete Anzeigen im Fahrzeug. Sie entwickelten eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, welche die Lücke zwischen Head-Up-Display und kontaktanalogen Anzeigen im Display schließen soll. Der Aufbau ähnelte dabei einer LED Matrix, welche oberhalb des Fahrerdisplays angeordnet ist. Verglichen mit einem Head-Up-Display konnten in einer Studie zur Night-Vision Funktion ähnliche Erkennungsraten erreicht werden. Auch mit dieser technisch einfacheren Lösung ist es möglich, dem Fahrer wirkungsvolle Warnungen eines Night-Vision-Assistenten anzuzeigen.

In der Ausgestaltung von Warnreizen ist es auch möglich, auf foveale Reize, wie Textwarnungen, zu verzichten. WICKENS UND MCCARLEY [51] beschreiben, dass diese Warnreize auch periphere bzw. unspezifische pulsierende Lichtquellen, Farbkontraste oder Beleuchtungsänderungen sein können. Solche Reize eignen sich sehr gut zur Aufmerksamkeitslenkung. Diese peripheren Warnungen können gut Informationen über den Ort der kritischen Fahrsituation transportieren, indem sie dem Fahrer nur in einem seiner peripheren Sichtfelder (links oder rechts) angezeigt werden. [50, 52]

Weitere verwandte Forschungsarbeit ist in den Einordnungskapiteln der durchgeführten Untersuchungen zu finden, siehe dazu die Kapitel: 4.1.1, 4.2.1, 4.3.1 und 4.4.1.

3.2 AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE

Der aktuelle Stand der Technik automatisch fahrender Fahrzeuge trägt zum Verständnis der weiterführenden Konzeptarbeit in dieser Arbeit bei. Die zu entwickelnde aufmerksamkeitslenkende Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung soll im manuellen und automatischen Fahren Anwendung finden. Diese Arbeit bezieht sich allein auf Personenfahrzeuge.

Der Begriff der automatisch fahrenden Fahrzeuge wird sehr unterschiedlich definiert. Am klarsten werden die schrittweise Entwicklung und der aktuelle Stand der Entwicklung hin zum vollständig automatisch fahrenden Fahrzeug über die Begriffsdefinitionen einzelner Arbeitsgruppen oder Behörden. Dabei handelt es sich um die folgenden Einteilungen der NHTSA (National Highway Traffic Safety Administation) und der SAE International (Society of Automotive Engineers).

Die NHTSA, eine amerikanische Behörde für Sicherheit auf Fernstraßen, teilt die Automatisierung in fünf Stufen ein. Die Level der Automatisierung reichen von Level 0 bis Level 4. [53]

Die SAE International bietet seit 2014 mit ihrer Richtlinie J3016 einen zweiten Überblick über die Einteilungen der Automationsstufen. Hier werden die Aufgabe und die Verantwortung des Fahrers sehr klar herausgearbeitet. Die SAE J3016 definiert sechs Stufen der Automation. Dabei wird die letzte Stufe der vollständigen Automatisierung, im Gegensatz zur Einteilung der NHTSA, noch weiter

unterteilt. Es erfolgt eine Aufteilung in hohe und volle Automatisierung. In der hohen Automatisierung kann der Fahrer die Fahraufgabe in bestimmten Fahrsituationen komplett abgeben, beispielsweise auf der Autobahn. In diesen Situationen kann der Fahrer Nebenaufgaben ausführen und muss keine Übernahme der Fahraufgabe erwarten. In der vollen Automatisierung wird beschrieben, dass das Fahrzeug in jeder Situation allein agieren kann. Hier wird ein Fahrzeug beschrieben, welches keinen Fahrer und auch kein Lenkrad mehr benötigt. Die Tabelle 3.1 stellt alle Level nach der SAE Richtlinie in der Übersicht dar. [54 bis 56]

Tabelle 3.1: Überblick über die SAE Level aus der Richtlinie J3016 und deren Grenzen [54]

SAE Level	Name	Übernahme der Fahraufgabe durch	Überwachung der Fahrumgebung	Rückfallebene der Fahraufgabe	Systemfähigkeit der Fahraufgabe
Der Mensch überwacht die Fahrumgebung.					
0	Keine Automation	Mensch	Mensch	Mensch	Nicht verfügbar
1	Fahrerassistenz	Mensch und System	Mensch	Mensch	Manche Fahrmodi
2	Teilautomatisiertes Fahren	System	Mensch	Mensch	Manche Fahrmodi
Das automatisierte System überwacht die Fahrumgebung.					
3	Bedingtautomatisiertes Fahren	System	System	Mensch zur Übernahme bereit	Manche Fahrmodi
4	Hochautomatisiertes Fahren	System	System	System	Manche Fahrmodi
5	Vollautomatisiertes Fahren	System	System	System	Alle Fahrmodi

Die Herausforderung von automatisch fahrenden Fahrzeugen oder dem autonomen Fahren ist, dass die Systeme die Fähigkeiten eines aufmerksamen menschlichen Fahrers übertreffen müssen. Wenn dies der Status quo ist, können autonome Systeme über die Leistungsfähigkeit des Menschen hinausgehen und sicherer als der Mensch werden. Eine der größten Herausforderungen besteht ebenfalls in der Absicherung dieser Systeme. Die Herausforderungen liegen im Schaffen der Sicherheit, in der Fehlerfreiheit und in der Schaffung von Transparenz hin zum menschlichen Fahrer. Ebenso ist der technische Aufbau eines solchen Fahrzeugs sehr komplex, viele Sensoren müssen für das erfolgreiche Erledigen der Fahraufgabe zusammenarbeiten. Die gesamte Umwelt um das Fahrzeug muss dem automatisch fahrenden Fahrzeug bekannt sein, um daraus die richtigen Fahrmanöver berechnen zu können. [56 bis 58]

Abgesehen von den genannten Herausforderungen sind es vor allem auch die offenen rechtlichen Fragen, die es aktuell unmöglich machen, solche Fahrzeuge im normalen Straßenverkehr zu bewegen. Ausgenommen davon sind Sondergenehmigungen zu Forschungszwecken. So ist beispielsweise die Sorgfaltspflicht beim autonomen Fahren nicht geklärt. Einen guten Überblick über die rechtlichen Herausforderungen gibt HILGENDORF ET AL. [59] in seinem Buch. [55]

Eine Zusammenfassung der rechtlichen Herausforderungen aus deutscher Perspektive gibt LUTZ [60] in seinem umfassenden Beitrag.

Erst mit Schaffen der rechtlichen Grundlagen und der gesellschaftlichen Akzeptanz dieser ist es möglich, parallel zur fortschreitenden

technischen Entwicklung dieser Systeme, ein Vertrauen zu automatisch fahrenden Fahrzeugen aufzubauen.

In der Konzeption der ambienten Innenraumlichtfunktion werden in dieser Arbeit teils Fahrmanöver von SAE Level 3 und Level 4 automatisch fahrender Fahrzeuge angenommen. Die Lichtfunktion soll unter diesen Gesichtspunkten zukunftsweisend erarbeitet und getestet werden.

Kapitel 4

WAHRNEHMUNGSSTUDIEN

Die Konzeptarbeit ist die erste Grundlage für das Entwickeln einer Innenraumlichtfunktion. Die Konzeptansätze und Konzepte werden mithilfe mehrerer Probandenstudien untersucht und jeweils mit Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen weiterentwickelt. Für die wissenschaftliche Herangehensweise der Entwicklung einer Lichtfunktion ist es unerlässlich auf die wahrnehmungsspezifischen Fakten der optischen Sinneszellen einzugehen. Das Überprüfen der Anwendung erfolgt in der Lichttechnik typsicherweise durch Probandenstudien.

Unter Zuhilfenahme von Probandenstudien in jedem Entwicklungsschritt werden Konzepterweiterungen abgeprüft und auf deren Anwendbarkeit untersucht. Die Untersuchungen sind ein wichtiger Bestandteil, um die Forschungsfragen beantworten zu können. Durch die damit entstandene Konzeptausrichtung ist die Vielfalt der Lichtfunktion bewusst reduziert worden und eine konkretere Ausrichtung einer optimalen Innenraumlichtfunktion entstanden.

4.1 STUDIE A: VORUNTERSUCHUNG ZU LICHTMODALITÄTEN UND NEBENAUFGABEN

4.1.1 EINORDNUNG UND WISSENSCHAFTLICHER KONTEXT

Das Ziel der ersten Studie war die Überprüfung der Grundlagen der Wahrnehmungspsychologie auf die Anwendung im Fahrzeuginnenraum. Gegenstand der Untersuchung waren verschiedene Lichtmodalitäten und deren Wahrnehmung im peripheren Sichtbereich, vgl. dazu auch die Grundlagen der peripheren Wahrnehmung in Kapitel 2.2. So kann die Beleuchtung der ambienten Innenraumbeleuchtung in der Helligkeit und der Farbe geändert werden. Durch die technischen Möglichkeiten der Lichtlinie, hervorgerufen aus der großen Anzahl und dem kleinen Abstand der einzelnen LEDs, kann zudem eine flüssige Bewegung eines hellen Lichtpunktes erreicht werden.

Es fließen Helligkeitsänderungen, Farbänderungen und Bewegungsänderungen in die Grundlagenanalyse zur Wahrnehmung der ambienten Innenraumbeleuchtung ein.

FUNKE und BENGEL [61] beschreiben, dass die Anzahl der Zapfen mit steigender Entfernung von der Fovea sinkt. Beschrieben wird dadurch auch die schlechtere Farbwahrnehmung in der Peripherie. Allerdings weisen die Autoren gleichzeitig darauf hin, dass die räumliche Auflösung des Farbsehsystems geringer ist als die des Helligkeitssystems. Gleichermaßen haben HANSEN, PRACEJUS, GEGENFURTNER [62] und WOODSON [63] mit dem Verweis auf BAIRD [64] in

ihren Studien ebenfalls nachgewiesen, dass die Farbwahrnehmung im peripheren Sichtfeld abnimmt. FUNKE und BENGEL [61] erläutern weiterhin den Zusammenhang von Größe und Farbe im peripheren Sichtfeld. Wenn farbige Objekte ausreichend groß sind, können auch diese in der Peripherie wahrgenommen werden. WERNEKE und VOLLRATH [65] beschreiben mit ihren Untersuchungsergebnissen, dass die Größe von Lichtreizen einen Einfluss auf die Wahrnehmung in der Peripherie hat. Große Reize werden besser wahrgenommen als kleine. FAHLE und WEHRHAHN [66] beschreiben detailliert, dass die horizontale Bewegungswahrnehmung im peripheren Gesichtsfeld besser als die vertikale Bewegungswahrnehmung ist.

Die Literatur besagt zusammenfassend, dass Farbänderungen in der Peripherie am schlechtesten wahrnehmbar sind. Helligkeitsänderungen und vor allem Bewegungsänderungen im peripheren Sichtfeld sind hingegen sensibler wahrnehmbar.

4.1.2 ABLEITUNG DES FORSCHUNGSSTANDES

Aus der Literaturrecherche leiten sich Fragen an die Konzeptentwicklung ab.

- Warum wird die Lichtfunktion im Innenraum angewandt?
- In welchen Szenarien wird die Lichtfunktion in welcher Ausgestaltung angewandt?
- Kann eine den Fahrzeugführer umgebende ambiente Lichtlinie für die Fahrerunterstützung genutzt werden?

Wie in der Motivation der Arbeit kurz angesprochen, beschreiben RUMAR und SPRENGER [3, 67], dass Nachtfahrten, bezogen auf die gefahrenen Kilometer, um den Faktor zwei bis drei Mal gefährlicher als Fahrten bei Tageslicht sind und dies an der schlechteren visuellen Informationsaufnahme gegenüber dem Tagszenario liegt. Durch eine geminderte Raumwahrnehmung und durch einen eingeschränkten Orientierungssinn bei Nachtfahrten ist es für viele Menschen unangenehmer zu fahren als bei Tageslicht. Die Ausleuchtung um das Fahrzeug im Exterieur ist stark limitiert und somit gerade außerhalb von Straßen mit ortsfester Beleuchtung unzureichend. Lichtfunktionen im Exterieur wie etwa eine Lichthupe oder ein gelb blinkender Richtungsanzeiger sind fester Bestandteil eines bewegten Fahrzeuges bei Dunkelheit. Gerade bei Nachtfahrten lassen sich Lichtfunktionen und Lichtänderungen durch ihre hohe Salienz gut anwenden. Durch die geringe Außenbeleuchtungsstärke bzw. durch die geringe Leuchtdichte der Umgebung ist das Adaptationslevel des Fahrers an die Dunkelheit angepasst und Lichtänderungen sind auffälliger als zur Tageszeit. Der Wertebereich der Außenbeleuchtungsstärke ist nachts wesentlich geringer als tagsüber. Eine Umsetzung der Lichtfunktion bei Nachtszenarien ist demnach als Einstieg viel wahrscheinlicher.

Die ambiente Innenraumbeleuchtung ist aktuell keinen gesetzlichen Regularien unterworfen, allerdings müssen Ablenkung und Blendung für den Fahrer vermieden werden und es darf kein störendes Licht nach außen gelangen. Die Möglichkeiten der Funktionalisierung und Individualisierung sind daher weitaus höher als im Bereich

des Exterieurlichtes, bei welchem beispielsweise Vorschriften für Helligkeit oder Farbe eingehalten werden müssen.

Für ein Informations- und Warnsystem, welches eine aufmerksamkeitslenkende Wirkung für das Blickverhalten des Fahrers hervorrufen soll, eignet sich am besten ein visuelles Anzeigesystem. Diese Anzeige muss sich in Fahrtrichtung in allen Blickrichtungen einer möglichen Information oder Warnung befinden. Die aktuell vorhandenen Displays im Fahrzeug sind für eine richtungsverortende Anzeige in ihrer Position und Ausbreitung zu eingeschränkt. Aktuelle Head-Up-Displays können nur in einem kleinen Winkelbereich Informationen darstellen und sind demnach für abgelenkte Fahrer, welche gerade nicht durch die Frontscheibe blicken, ungeeignet. Die Nutzung einer richtungsverortenden den Fahrer 180° umgebenden Lichtlinie hat hier wesentliche Vorteile gegenüber den genannten herkömmlichen Anzeigen. Die umlaufende Lichtlinie wird daher als Ausgangspunk für die Konzeption genutzt.

4.1.3 TECHNISCHER AUFBAU

Für die Untersuchungen wurde eine Sitzkiste genutzt, die mit einer elektronischen Pedalerie und einem elektrisch ansteuerbaren Lenkrad ausgestattet war. Zudem befand sich in der Sitzkiste eine umlaufende ambiente Innenraumbeleuchtung. Das Umfeld des Fahrzeuginnenraums wurde bewusst reduziert, um die Anzahl der Störfaktoren in den ersten Untersuchungen so niedrig wie möglich zu halten und den Fokus auf das ambiente Beleuchtungssystem zu

richten. Das Grundgerüst bestand aus *item* Profilen und ebenen Flächen aus Holz. Alle Materialien wurden in einem matten Schwarz gewählt, um möglichst geringe Reflexionen des Lichtes sicherzustellen. Der Grundaufbau der Sitzkiste ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

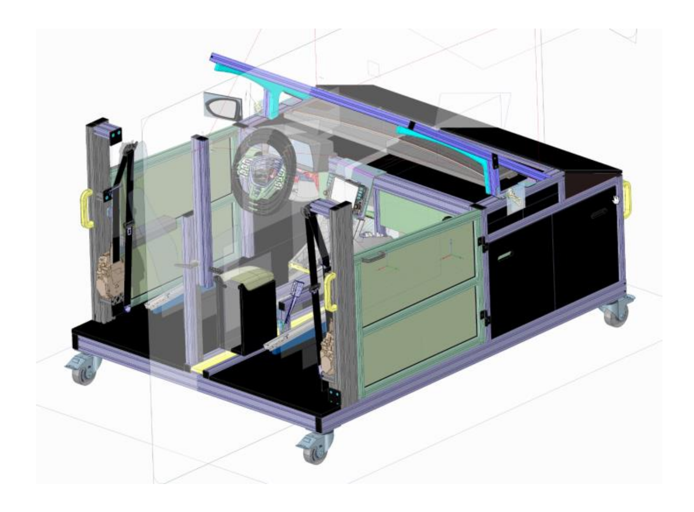


Abbildung 4.1: Grundaufbau der *item* Sitzkiste

Der Aufbau wurde durch eine ambiente Beleuchtung ergänzt, welche mit einzelnen digital ansteuerbaren LED Streifen ausgestattet waren. Die LED Streifen von der Firma Adafruit Industries besaßen pro Laufmeter 144 einzeln ansteuerbare RGB LED Chips, wobei hier WS2812B LED Chips verbaut sind. Der Abstand der LED Chips auf dem Streifen betrug 6,94 mm. Die Streifen wurden in ein passendes U-Profil mit Abdeckscheibe geklebt und verkabelt. Die metallische Grundkonstruktion der U-Profile sorgte für einen ausreichenden Wärmeabtransport, siehe Abbildung 4.2.

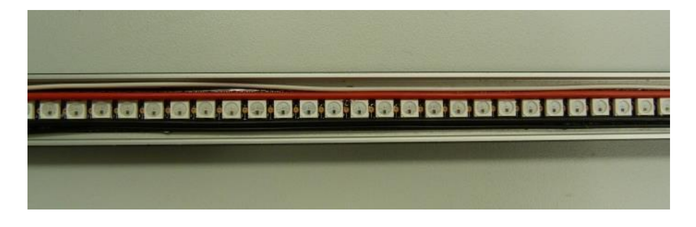


Abbildung 4.2: Eingeklebter LED Streifen im ersten U-Profil mit Kabelrückführung im Profil

Der Aufbau der ambienten Beleuchtung orientierte sich an den Lichtauslassflächen und den Leuchtdichten der auf dem Markt verfügbaren Fahrzeuge. Als Lichtstreuscheibe wurde ein für das Profil passendes Teil in U-Form genutzt. Das Kunststoffmaterial besaß einen Transmissionsgrad $\tau D65$ von 69 %. Die Streufläche und das silberne U-Profil sind mithilfe von mattschwarzer Folie abgeklebt worden, sodass nur noch eine seriennahe linienförmige Öffnung des Lichtes von 1 mm blieb, siehe Abbildung 4.3.

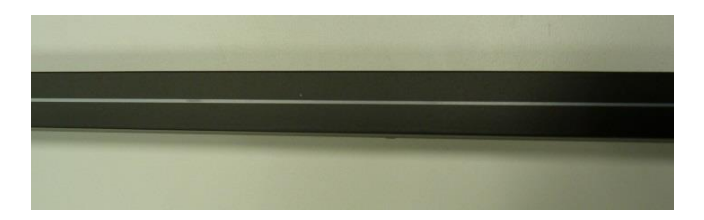


Abbildung 4.3: Abgeklebte LED Leiste mit einer sichtbaren Öffnung der ambienten Innenraumbeleuchtung von 1 mm Höhe

Bei dem so erzeugten Lichtbild kann von einem hinreichend homogenen Erscheinungsbild ausgegangen werden, siehe die Testmessung zur Bewertung der Homogenität in Abbildung 4.4. Die

Leuchtdichtemessung erfolgte mithilfe einer Leuchtdichtekamera (*LMK Mobile* der Firma *TechnoTeam Bildverarbeitungs GmbH*).



Abbildung 4.4: Leuchtdichtemessung eines Testaufbaus zur Homogenitätsbewertung, Farbe Rot, Ansteuerung der LED mit 2 von 255 Stufen der Primärvalenz Rot, 5V, f50, ohne Filter, Abstand LED Leiste zu Leuchtdichtekamera 1150 mm

Die Leuchtdichten wurden in Abhängigkeit der sich unterscheidenden Ansteuerung der Farben kalibriert und ebenfalls mit der Leuchtdichtekamera überprüft. Aufgrund der Einstelltiefe von 8 Bit pro Primärvalenz war die Kalibrierung der Farben auf die gleiche Leuchtdichte nur mit einer allgemeinen Anhebung des Leuchtdichteniveaus möglich. Um diese Anhebung wieder auszugleichen, wurden vier Lagen an E-Colour #209: .3 Neutral Density Folie der Firma Rosco verbaut. Eine Lage hatte dabei laut Datenblatt eine Transmission von 48 %. Somit ergab sich ein Gesamttransmissionsgrad von: $\tau_{ges} = 0{,}48^4 = 0{,}0531$. [68]

Nach dem Einbau der Folien ist die Kalibrierung der LEDs vorgenommen und alle dargestellten Farben sind mit der gleichen Leuchtdichte präsentiert worden.

Die Steuerung der LEDs erfolgte über einen Arduino Mega ADK Mikrocontroller, welcher über eine Signalleitung und eine Erdung mit den LED Streifen verbunden war. Zur Steuerung der abzuspielenden Lichtänderungen und zur Einstellung der Grundfarbe wurde weiterhin ein externes Bedienpanel mit Tastern aufgebaut, siehe Abbildung 4.5.



Abbildung 4.5: Externes Bedienpanel mit Tastern für die Ansteuerung des Mikrocontrollers

Die Programmierung des Softwarecodes für den Mikrocontroller erfolgte mit der von Arduino eigenen Entwicklerumgebung in Form der mitgelieferten Java Anwendung. Zur Implementierung des LED Streifens ist eine vom Hersteller zur Verfügung gestellte Funktionsbibliothek genutzt worden. Durch diese Bibliothek konnte die Programmiersprache C bzw. C++ eingesetzt werden. Durch die Ansteuerung konnte jede LED einzeln oder in Form von Szenarien angesteuert werden.

Die ambiente Innenraumbeleuchtung kann in der Helligkeit und in der Farbe variiert werden. Durch die große Anzahl an einzelnen

Lichtpunkten und deren geringen Abstand in der Lichtlinie ist ebenfalls eine Ortsänderung beziehungsweise die Bewegungsdarstellung eines hellen Lichtpunktes möglich.

4.1.4 FORSCHUNGSFRAGEN

In dieser ersten Studie werden grundlegende Fragestellungen für die spätere Weiterentwicklung der Innenraumlichtfunktion untersucht. Die aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse müssen im Kontext einer ambienten Innenraumbeleuchtung im Fahrzeug überprüft werden, woraus sich folgende Forschungsfragen für die erste Untersuchung ergeben:

- Lässt sich die Aufmerksamkeit durch eine Lichtänderung in der ambienten Innenraumbeleuchtung von einer auszuführenden Nebenaufgabe lösen?
- Welche der Lichtänderungen (Farbwechsel, Helligkeitswechsel oder Bewegungsänderung) im Lichtband der ambienten Innenraumbeleuchtung erwecken am meisten Aufmerksamkeit? Die Aufmerksamkeit wird dazu über die Reaktionszeit operationalisiert.
- Ist die Aufmerksamkeitszuwendung zurück zum Fahrgeschehen abhängig von der Art der Nebenaufgabe (kognitiv, visuell und motorisch) während einer hochautomatischen Fahrt?
- Wie werden die Lichtänderungen subjektiv bewertet?

In der Untersuchung soll den folgenden Nullhypothesen nachgegangen werden:

- Die Lichtänderungen unterscheiden sich nicht in ihren Reaktionszeiten.
- Die Art der Nebenaufgabe hat keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten.

4.1.5 METHODE

Die Methode der Studie bestand aus einer Simulatorfahrt und Fragebögen in Kombination mit verschiedenen Nebenaufgaben. Die ersten Studien dieser Arbeit sind aufgrund der guten Reproduzierbarkeit der Untersuchungsbedingungen im Fahrsimulator umgesetzt worden. Durch die starke Abhängigkeit der Wirkung der ambienten Innenraumbeleuchtung von der Außenbeleuchtungsstärke, ist eine reproduzierbare Situation für diese Grundlagenuntersuchungen unerlässlich. Die Untersuchung ist im statischen Fahrsimulator der Konzernforschung der Volkswagen AG durchgeführt worden, siehe Abbildung 4.6. Alle Probanden hatten somit die exakt gleichen Versuchsbedingungen.



Abbildung 4.6: Aufbau Simulator für Studie A mit 3,8 m breiter Leinwand und 3,8 m Entfernung vom Auge des Fahrers zur Leinwand

Die Probanden saßen wie im in Kapitel 4.1.3 beschriebenen Aufbau auf dem Fahrersitz und absolvierten die verschiedenen Versuchsbedingungen. In Abbildung 4.7 sind der Aufbau und die Sitzposition des Probanden dargestellt.



Abbildung 4.7: Links: Aufbau der Sitzkiste im Fahrsimulator, Rechts: Sitzposition des Probanden in der Sitzkiste mit Tabletposition und LED ambiente Innenraumbeleuchtung

Für die Versuchsdurchführung wurde in der Software *Virtual Test Drive* der Firma *VIRES* eine Nachtfahrt programmiert, welche eine Autobahnfahrt darstellte und eine Maximaldauer von 5 Minuten hatte. Es gab umgebenden Verkehr, der sich immer gleich verhielt. Alle Fahrzeuge auf der Gegenspur hatten feste Fahrbahnen, um bei allen Probanden das gleiche Szenario darstellen zu können. Das zentrale Logging der Fahrdaten und der Zeitpunkt der abgerufenen Lichtänderungen wurde in der Software *ADTF* (Automotive Data and Time-triggered Framework) aufgezeichnet.

Der Versuchsleiter saß hinter dem Probanden, siehe Abbildung 4.8. Dieser Platz ist durch Sichtschutzwände vom vorderen Teil des Versuchsraumes getrennt worden, um störende Lichteinflüsse durch die Computermonitore auszuschließen. Der Simulatorraum war komplett schwarz gestrichen und die Raumbeleuchtung wurde im Versuch ausgeschaltet, um eine nächtliche Straßensituation zu simulieren.

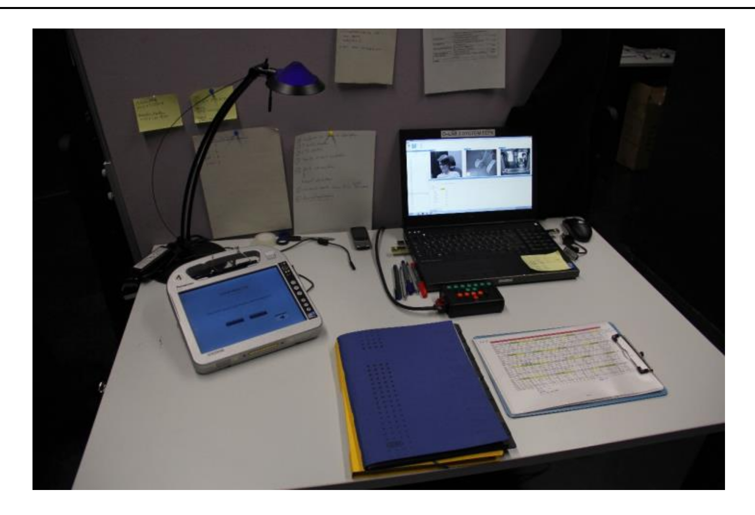


Abbildung 4.8: Versuchsleiterstand Studie A

In dieser Studie wurden vier verschiedene Lichtänderungen unter drei unterschiedlichen Belastungen in Form von Nebenaufgaben betrachtet. Alle Lichtänderungen sind auf der LED Leiste in einer Ausprägung von 10 cm dargestellt worden. Dies eignet sich für eine später geplante richtungsabhängige Aufmerksamkeitslenkung. Für die Randomisierung nach dem sequentiell ausbalancierten lateinischen Quadrat wurden die Lichtänderungen an drei verschiedenen Orten präsentiert, um Lerneffekte der Probanden zu vermeiden. [69]

Die Positionen sind in der Mitte des Armaturenbrettes und in den vorderen beiden Seitentüren zweckmäßig für spätere Anwendungsfälle gewählt worden. [70]

Als Lichtänderungen wurden eine einfache Helligkeitsänderung, ein sich dreifach wiederholendes Blinklicht, eine Farbänderung und ein

Lauflicht untersucht. Die Leuchtdichte der ambienten Innenraumbeleuchtung betrug auf 5 cm im Mittel gemessene 1,7 … 1,8 cd/m² und befand sich damit auf dem Niveau von Serienleuchten. Die Lichtänderungen hatten eine auf 5 cm im Mittel gemessene Leuchtdichte von 11,2 cd/m². Der Wert ergab sich nach einer Expertenbegutachtung und sollte hinreichend hell sein um wahrgenommen zu werden, aber dunkel genug, um nicht zu blenden.

Der einfache Helligkeitswechsel aktivierte sich mit steiler Flanke und blieb bis zum Ende des Szenarios unverändert. Das dreifache Blinklicht wurde ebenfalls in gleichbleibender Farbe präsentiert, jedoch mit einer Einschalt- und Ausschaltdauer von jeweils 1000 ms. Die harte Ein- und Ausschaltflanke sowie die Leuchtdichte waren identisch zu denen des einfachen Helligkeitswechsels.

Der Farbwechsel ergab sich unter Berücksichtigung der bekannten Rot-Grün- und Blau-Gelb-Schwäche mancher Menschen. [71] Ebenso wurde die ungleichmäßige Verteilung der Rezeptoren im Auge und speziell der drei Zapfentypen: L[1], M[2] und S[3] beachtet. [16] Um den maximalen Reiz zu erreichen, sind für diese grundlegende Untersuchung nur Grundfarben genutzt worden.

[1] L-Zapfen: long wavelength receptor = Rotrezeptor für den roten Anteil des sichtbaren Farbspektrums

[2] M-Zapfen: medium wavelength receptor = Grünrezeptor für den grünen Anteil des sichtbaren Farbspektrums

[3] S-Zapfen: short wavelength receptor = Blaurezeptor für den blauen Anteil des sichtbaren Farbspektrums

Der Farbwechsel innerhalb des Farbspektrums wurde durch den Einsatz von Nachbarfarben realisiert, um dadurch unterschiedliche Rezeptoren anzusprechen. Die resultierenden Farbwechsel waren von Rot auf Gelb und von Blau auf Grün.

Die Darstellung des Lauflichtes erfolgte wieder mit gleicher Farbe und Leuchtdichte wie der helle Bereich der dauerhaften Helligkeitsänderung. Dieser helle Bereich war mit fünf nebeneinanderliegenden LEDs (ca. 3,5 cm) programmiert, wobei in einem Zeitabschnitt nur die mittlere LED die volle Helligkeit besitzt und dadurch eine weichere Animation dargestellt wurde. Die Länge des Lauflichtes betrug 10 cm auf dem Lichtband. Das Lauflicht wiederholte sich mit einer Frequenz von 1 Hz dreifach und entsprach somit der Norm für ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen und zur Darstellung für Aufmerksamkeitsgewinnung. [72] Die Rechenkapazität des Arduino Mikrocontrollers gab die Geschwindigkeit des Lauflichtes vor.

Durch die Wiederholungen bei Blinklicht und Lauflicht konnten sich alle vier getesteten Lichtänderungen subjektiv deutlicher voneinander abheben. Der Versuchsleiter rief manuell in einer festgelegten randomisierten Zeit von zwei bis vier Minuten, während der Bearbeitung der Nebenaufgabe, die Lichtänderungen ab.

Untersucht wurden drei Belastungen auf den Fahrer in Form von drei Nebenaufgaben. Diese unterscheiden sich dahingehend, ob der visuelle, der kognitive oder der motorische Kanal belastet wurde. Die visuelle Ablenkung der Probanden erfolgte mit einer an die Surrogate

Reference Task (SuRT) angelehnten Aufgabe, welche auf einem Tablet durchgeführt wurde, siehe Abbildung 4.9. SuRT beruht auf der ISO/TS 14198:2012. [73] Ein größerer weißer Kreis als Zielreiz ist zwischen 30 kleineren weißen Kreisen als Distraktoren[4] auf schwarzem Hintergrund dargestellt worden. Das Bild aktualisierte sich alle vier Sekunden selbstständig. Die Rückmeldung über die Position des Zielreizes fand mündlich statt und beschränkte sich auf die Bereiche linke und rechte Displayhälfte.

Die motorische Nebenaufgabe war ein Kinderspiel mit Holzklötzen. Die Probanden mussten die Holzsteine, welche verschiedene Formen hatten, in einem schwarzen blickdichten Strumpf erfühlen und diese in die jeweils passende Öffnung eines großen Holzwürfels stecken, siehe Abbildung 4.9. Der Bearbeitungszeitraum überschritt jeweils die maximal fünf Minuten Dauer eines Versuchsabschnittes.



Abbildung 4.9: Links: Die motorische Nebenaufgabe, Mitte: Die motorische Nebenaufgabe, blickdichter Strumpf, Rechts: Die visuelle Nebenaufgabe SuRT

[4] Distraktor: Ablenkungsreize in der Untersuchung

Für die kognitive Belastung während der Versuchsdurchgänge mussten die Probanden Kopfrechenaufgaben lösen und die Ergebnisse mündlich ansagen. Dabei sollten beginnend mit einem Startwert kontinuierlich eine Zahl subtrahiert werden: 800 minus 7, 900 minus 6, 650 minus 8 und 840 minus 7. Die Teilnehmer wurden instruiert, dass diese Nebenaufgaben möglichst gewissenhaft zu lösen sind. Im Versuch selbst wurde allerdings kein Bewertungsmaß für die Nebenaufgabe aufgenommen. Für den angestrebten Vergleich galt es, nur die kontinuierliche Belastung während der verschiedenen Lichtmodalitäten sicherzustellen.

Die Stichprobe bestand aus 38 Versuchspersonen, welche aus dem Probandenpool der Volkswagen AG stammten. Hierzu gehören Mitarbeiter, die sich freiwillig zur Teilnahme an Probandenstudien bereit erklärt haben. Sechs Personen trugen im Versuch eine Brille, vier Personen benutzten Kontaktlinsen und 28 hatten keine Sehhilfe. Am Versuch nahmen 19 Frauen und 19 Männer teil. Laut der Literatur beginnen im Alter von 40 bis 50 Jahren erste Beeinträchtigungen des Sehens. [74 bis 80] Aus diesem Grund erfolgte die Aufteilung der Probanden in zwei Altersklassen, bis 45 Jahre und ab 45 Jahre. Die Altersspanne reichte von 21 Jahren bis 59 Jahren, der Mittelwert lag bei 39 Jahren. 14 der Probanden waren über 45 Jahre und 24 unter 45 Jahre. Weitere Daten des Demografischen Fragebogens sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Das Versuchsdesign ergab sich aus den drei Nebenaufgaben, den zwei Grundfarben, den vier Lichtänderungen und den drei möglichen Anzeigeorten, es wurde im Mixed Design geplant, siehe Tabelle

4.2. Zur Vermeidung von Lerneffekten erfolgte über alle Probanden eine Gleichverteilung der Anzeigeorte. Jeder Proband führte jede der drei Nebenaufgaben aus und erlebte jede der vier Lichtänderungen. Somit durchlief jeder Proband zwölf Varianten.

Tabelle 4.1: Soziodemografische Daten zur Stichprobe der Studie A

Fragestellung	Prozentuale Antwort der Stichprobe				
Jährliche Fahrleistung	29 % unter 15.000 km	53 % unter 30.000 km	13 % unter 45.000 km	5 % unter 60.000 km	
Anteile der Nachtfahrten der jährlichen Fahrleistung	42,1 % unter 20%	44,7 % unter 40%	7,9 % unter 60%	5,3 % über 80%	
Anteile der Autobahnfahrten der jährlichen Fahrleistung	32 % unter 20 %	34 % unter 40 %	26 % unter 60 %	3 % unter 80 %	5 % über 80 %
Anstrengung bei Nachtfahrten	22 % sehr wenig	16 % wenig	44 % mittel	12 % stark	6 % sehr stark
Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen	7 % sehr gering	3 % gering	50 % mittel	23 % hoch	17 % sehr hoch
Begriff ambiente Innenraumbeleuchtung bekannt	87 % ja	13 % nein			
Bereits ambiente Innenraumbeleuchtung gefahren	55 % ja	37 % nein	8 % keine Angabe		

Tabelle 4.2: Studiendesign Studie A, alle möglichen Durchgänge sind mit Zahlen (1 - 36) bezeichnet und die möglichen 12 Durchgänge eines Probanden sind mit Buchstaben (A - L) bezeichnet

		Lichtänderung (3 Stufen, within)											
		Helligkeit			Farbe			Bewegung			Blinken		
		Anzeigeort (3 Stufen, between)											
		Links	Mitte	Rechts	Links	Mitte	Rechts	Links	Mitte	Rechts	Links	Mitte	Rechts
Nebenaufgabe	visuell	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		A			B			C			D		
	motorisch	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		E			F			G			H		
	kognitiv	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
		I			J			K			L		

Nach jedem der zwölf Durchgänge wurden Kurzfragebögen zur wahrgenommenen Lichtänderung ausgefüllt. Diese bestanden aus vier kurzen Aussagen, die vom Probanden auf einem abgedunkelten Tablet auszufüllen waren. Die Bewertung erfolgte auf einer 15-stufigen Skala welche nach HELLER [81] basierend auf der Likert-Skala aufgebaut war. Die Skala reichte von „lehne stark ab“ bis „stimme stark zu“, siehe Tabelle 4.3.

Tabelle 4.3: 15-stufige Skala der Kurzfragebögen nach Heller [61]

lehne stark ab			lehne ab			unent-schieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	o	+	-	o	+	-	o	+	-	o	+	-	o	+

Folgende Aussagen wurden nach jedem Durchgang bewertet:

- Ich habe die Lichtänderung gut wahrgenommen.
- Die Lichtänderung eignet sich dafür, meine Aufmerksamkeit zu gewinnen.
- Die Lichtänderung stört mich.
- Die Lichtänderung ist angenehm.

Im Anschluss an die zwölf Versuchsfahrten wurde von den Teilnehmern auf dem Tablet ein weiterer zusammenfassender Fragebogen ausgefüllt, welcher in Tabelle 4.4 zusammengefasst ist.

Tabelle 4.4: Zusammenfassung der 13 Fragstellungen des Abschlussfragebogens

F1:	Wie anstrengend fanden Sie die Kopfrechenaufgabe?
F2:	Wie anstrengend fanden Sie das Holzpuzzle?
F3:	Wie anstrengend fanden Sie die Suchaufgabe auf dem Tablet?
F4:	Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung in den Aufgaben?
F5:	Wie stark haben Sie Ihre Aufmerksamkeit auf die Aufgaben gerichtet?

F6:	Wie viel haben Sie während der Kopfrechenaufgabe vom Fahrgeschehen wahrgenommen?
F7:	Wie viel haben Sie während des Holzpuzzles vom Fahrgeschehen wahrgenommen?
F8:	Wie viel haben Sie während der Suchaufgabe vom Fahrgeschehen wahrgenommen?
F9:	Wie komfortabel finden Sie die Lichtänderung der ambienten Beleuchtung?
F10:	Wie viele verschiedene Möglichkeiten der Lichtänderung haben Sie wahrgenommen?
F11:	Welche Art der Lichtänderung hat am meisten Ihre Aufmerksamkeit gewonnen?
F12:	Denken Sie, dass eine Änderung des ambienten Innenraumlichtes als Komfortfunktion für die Aufmerksamkeitsgewinnung hilfreich ist?
F13:	Würden Sie sich eine solche Funktion bei einem Fahrzeugkauf anschaffen?

Die Fragen 1 – 9 waren auf einer 15-stufigen Unterskala von „sehr ablehnend“ bis „stark zustimmend“ jeweils auf die Frage angepasst.

Zum Ende des Versuchs wurden den Probanden alle im Versuch gezeigten Lichtänderungen erneut zur subjektiven Bewertung vorgeführt. Als Fragebogen ist ein modifiziertes semantisches Differential durchgeführt worden. Dies ist eine Sammlung von Gegenwortpaaren wie beispielsweise „einfach“ und „komplex“. Zwischen diesen Wortpaaren gibt es eine siebenstufige Skala, welche typischerweise nicht weiter bezeichnet ist. Der Proband bewertete die nochmals gesehenen Lichtänderungen, indem er sich zwischen den beiden Wörtern auf der Skala anhand der sieben Schritte entschied. Als theoretische Grundlage wurde das semantische Differential von OSGOOD ET. AL [82] und BORTZ UND DÖRING [69] herangezogen. Es wurden acht konzeptspezifische Wortpaare aus dem semantischen Differential von GORNIAK [83] und drei Items von SCHIELKE [84] verwendet. Diese wurden weiterhin durch sieben Wortpaare von OSGOOD, SUCI UND TANNENBAUM [82], sowie durch sechs eigene, zur Thematik passende Items ergänzt. Insgesamt wurden 24 Gegenwortpaare genutzt, siehe in Anhang B.1.1 die Abbildung 5.1.

Die Probanden wurden simuliert je Durchgang eine maximal siebenminütige Fahrt auf der nächtlichen zwei- und dreispurigen Autobahn gefahren. Das Egofahrzeug der Probanden fuhr im hochautomatischen Modus (SAE Level 4). Das bedeutet, dass die Probanden keinerlei Fahraufgabe übernommen haben. Alle Fahrzeuge sind mit Abblendlichtcharakteristik gefahren.

4.1.6 DURCHFÜHRUNG

Der Versuch ist an elf Versuchstagen durchgeführt worden. Die Versuchsdauer eines Probanden betrug circa 100 Minuten. Zu Beginn des Versuches erfolgte ein Test auf Rot-Grün-Sehschwäche mithilfe von Ishihara Farbtafeln. Ein Proband hatte eine Rot-Grün-Sehschwäche, dieser konnte aufgrund der gewählten Farbwechsel ebenfalls ausgewertet werden. [85]

Vor dem Ausfüllen des demografischen Fragebogens, hatten die Teilnehmer eine Einverständniserklärung zur Aufnahme von Video- und Tonaufnahmen und ein Informationsblatt zur Teilnahme an Fahrsimulatorstudien unterschrieben. In diesem ist weiterhin auf die Risiken des Fahrsimulators und auf die Möglichkeit, jederzeit den Versuch beenden zu können, hingewiesen worden. Daraufhin haben die Probanden den Versuchsleiterstand verlassen, in der Sitzkiste Platz genommen und den Sitz passend für eine normale Fahrsituation eingestellt. Die Beleuchtung wurde ausgeschaltet und eine Nachtsituation hergestellt. Danach begann die 10-minütige Dunkeladaptationszeit. [86]

Die Instruktion erfolgte während der Adaptationszeit. Ebenso fand die mündliche Erläuterung der drei Nebenaufgaben statt. In der Einweisung wurde auf mögliche Lichtänderungen in der ambienten Beleuchtung hingewiesen. Die Probanden sollten während des Versuches nicht explizit auf die Beleuchtung achten, sondern mit höchster Priorität die Nebenaufgaben bearbeiten. Die Instruktion der Teilnehmer erfolgte mit der Aussage, dass die erreichten Zeiten in

den Nebenaufgaben vom Versuchsleiter dokumentiert werden. Sobald sie eine Lichtänderung in der 180° ambienten Innenraumbeleuchtung wahrgenommen haben, sollte mit einem Druck auf das Bremspedal reagiert werden. Aufgrund der motorischen Nebenaufgabe ist das Bremspedal in allen Nebenaufgaben für die Reaktionszeitmessung verwendet worden, sodass das Offset an Reaktionszeit bei allen Versuchsbedingungen vergleichbar ist. Das kontinuierliche Ausführen der Nebenaufgabe bis zum Zeitpunkt der Lichtänderung überwachte der Versuchsleiter mithilfe von Kameras.

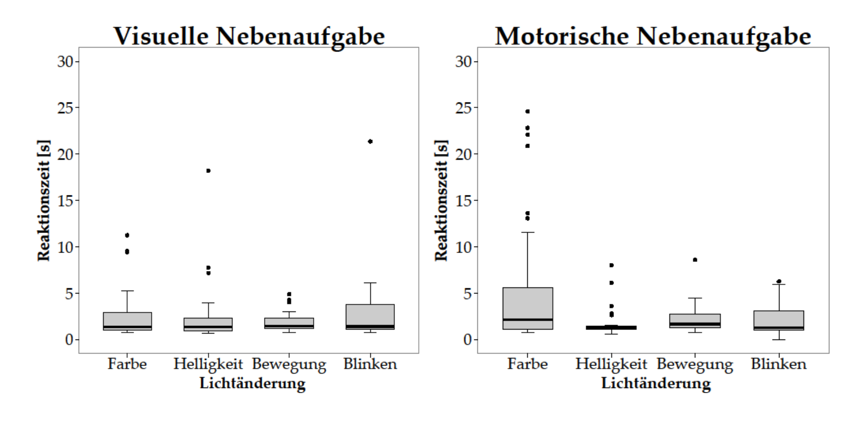
Der Versuch startete auf Anweisung des Versuchsleiters mit dem Beginn der virtuellen Fahrt und dem Start der jeweiligen Nebenaufgabe. Nach der maximalen Zeit eines Durchganges erfolgte bei jedem Probanden die Abfrage, ob er eine Lichtänderung wahrgenommen hat. Ist dies eindeutig mit Ja beantwortet worden, musste der Teilnehmer auf dem abgedunkelten Tablet vier Kurzaussagen bewerten. Wurde keine Lichtänderung wahrgenommen, ist der Versuch mit der Bearbeitung der nächsten Nebenaufgabe fortgesetzt worden. Nachdem die 12 Durchgänge abgeschlossen waren, folgte der Abschlussfragebogen auf dem Tablet. Zum Ende des Versuches erfolgte eine weitere Demonstration aller gezeigten Lichtänderungen, woraufhin die Probanden diese nach randomisierter Reihenfolge auf dem semantischen Differential bewerteten.

Siehe Anhang B.1.2 und B.1.3 für den Versuchsleiterbogen und das Versuchsablaufdiagramm.

4.1.7 ANALYSE DER DATEN

Für die statistische Analyse der Messdaten aus dem Fahrsimulator wurden die Mittelwerte der Reaktionszeiten für die zwölf verschiedenen Kombinationen aus Lichtänderung und Nebenaufgabe berechnet. Zusätzlich erfolgte die Betrachtung der Durchgänge der nicht wahrgenommenen Lichtänderungen. Für eine deskriptive Auswertung der Messdaten wurden zunächst zwölf Boxplots der Reaktionszeiten erstellt. Mit Hilfe dieser grafischen Darstellung der Messwerte war es möglich, die Extremwerte[5] darzustellen und zu eliminieren, siehe Abbildung 4.10.

[5] Extremwerte sind Werte > 3 IQR (interquartil range) außerhalb des oberen / unteren Quartils



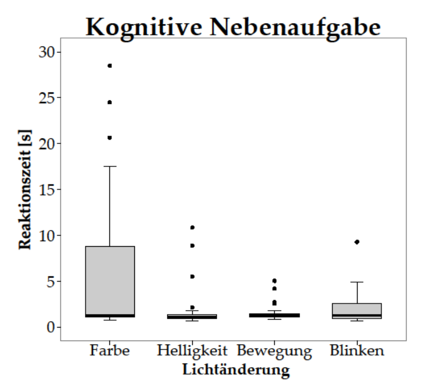


Abbildung 4.10: Boxplots zur Übersicht der Reaktionszeiten, gruppierte Darstellung nach den Nebenaufgaben und Feingliederung nach den Lichtänderungen

Die Mittelwerte der Reaktionszeiten variierten von $M = 1.18$ s, $SD = 0.34$ s (Kombination aus kognitiver Aufgabe und Helligkeitsänderung) bis $M = 5.98$ s, $SD = 8.09$ s (Kombination aus kognitiver Aufgabe und Farbänderung). Nicht wahrgenommene Lichtänderungen teilten sich bezüglich der Häufigkeit wie folgt auf: bei der Kombination aus visueller Aufgabe und Lauflicht (18 fehlende Werte / N = 38), bei der Kombination aus visueller Aufgabe und Farbänderung (15

fehlende Werte / N = 38), sowie bei der Kombination aus kognitiver Aufgabe und Lauflicht (15 fehlende Werte / N = 38), siehe Abbildung 4.11.

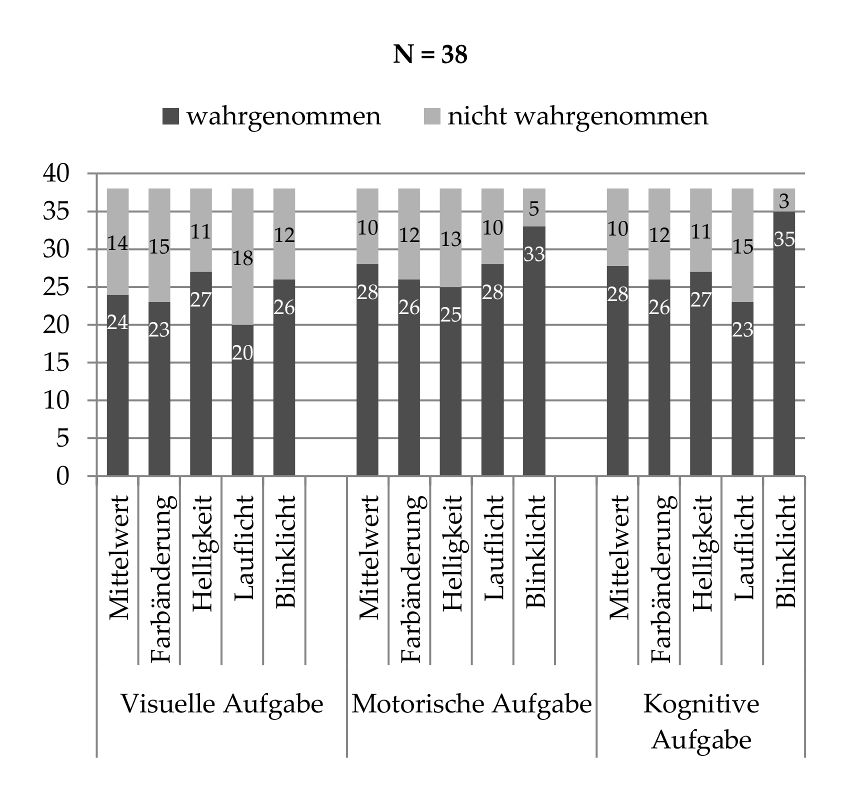


Abbildung 4.11: Nicht wahrgenommene Lichtänderungen, Sortierung nach Nebenaufgabe

Für die Auswertung der Untersuchung sollten für alle zwölf Bedingungen Varianzanalysen mit Messwiederholungen[6] berechnet werden, da jeder Proband alle drei Nebenaufgaben ausgeführt hat und dabei alle vier Lichtmodalitäten präsentiert bekam. Die Reaktionszeiten unter den verschiedenen Bedingungen stellten die abhängige Variable dar. Die relativ große Anzahl an fehlenden Werten, also nicht wahrgenommenen Lichtänderungen, machte eine Varianzanalyse mit Messwiederholung in SPSS unmöglich, da dort durch den listenweisen Fallausschluss zu kleine Vergleichsgruppen entstanden sind. Daraufhin wurden die Messdaten über die Lichtmodalitäten bzw. über die Nebenaufgaben gemittelt, um so größere Datensätze für die Durchführung der Varianzanalyse zu erzeugen. Als Voraussetzung für die Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden die Gruppen auf Homogenität der Mittelwertdifferenzen zwischen den Messzeitpunkten (Sphärizität) untersucht. Für signifikante Ergebnisse des Tests auf Sphärizität ($p < 0.05$), welche eine Verletzung der genannten Homogenität anzeigen, wurde eine Greenhouse-Geisser Korrektur[7] der Freiheitsgrade vorgenommen. Das Signifikanzniveau für die Varianzanalysen wurde auf 0.05 festgelegt.

Es erfolgte zusätzlich eine Berechnung der Post Hoc Tests[8], bei denen ein paarweiser Vergleich der Gruppen stattfand. Dafür wurden t-

---

[6] Varianzanalysen mit Messwiederholungen: Analyseverfahren zur Beurteilung von Mittelwertunterschieden mehrerer Gruppen wird auch ANOVA (Analysis of Varince) genannt [69]

[7] Greenhouse-Geisser Korrektur: Konservatives Korrekturverfahren bei Verletzung der Sphärizität innerhalb einer ANOVA

[8] Post Hoc Test: Testverfahren mit paarweisem Mittelwertvergleich innerhalb einer Gruppe

Tests für verbundene Stichproben zwischen den einzelnen Gruppen berechnet. Da die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art mit der Anzahl der t-Tests steigt, musste der Test nach Bonferroni[9] korrigiert ausgewertet werden.

Für die erste Betrachtung wurden die Reaktionszeiten über die Nebenaufgaben hin gemittelt, um die Mittelwerte unter den verschiedenen Lichtänderungen zu vergleichen. Es wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet mit dem Innersubjektfaktor Farbänderung mit vier Stufen (Farbänderung, Helligkeitsänderung, Bewegungsänderung und Blinklicht) und dem Zwischensubjektfaktor Grundfarbe, also der Grundfarbe der ambienten Innenraumbeleuchtung (rot, blau). In die Analyse wurden 26 Fälle einbezogen, von denen die Hälfte jeweils die rote bzw. blaue Grundfarbe der ambienten Innenraumbeleuchtung hatten. Im Anschluss wurde der Mauchly-Test[10] auf Sphärizität berechnet. Da dieser signifikant war ($p < .001$), wurde eine Korrektur der Freiheitsgrade mit dem Greenhouse-Geisser Epsilon von .426 vorgenommen. Es ergab sich sowohl ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Lichtänderung $F(1.28,30.65) = 6.68$, ($p = .010$), als auch eine signifikante Interaktion zur „Grundfarbe“ $F(1.28, 30.65) = 6.33$, $p = .012$. Die Post-Hoc Tests ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen den Lichtänderungen, Farbänderung und Helligkeitsänderung ($p = .018$), wobei die Helligkeitsänderung

[9] Bonferroni-Methode: konservatives Korrekturverfahren zum Begrenzen der Wahrscheinlichkeit, einen Fehler 1. Art zu begehen (Alphafehlerwahrscheinlichkeit) [69]

[10] Mauchly-Test: Testverfahren zum Überprüfen der Sphärizität, ist eine Voraussetzung für die ANOVA

zu signifikant schnelleren Reaktionszeiten als die Farbänderung führte. Weiterhin zeigten sich Tendenzen, dass zum einen die Helligkeitsänderung ebenfalls zu schnelleren Reaktionszeiten als das Lauflicht ($p = 0.075$) und das Blinklicht ($p = 0.054$) führte und zum anderen auch das Lauflicht zu schnelleren Reaktionszeiten als die Farbänderung ($p = .087$) führte. Die aufgestellte Nullhypothese wurde damit widerlegt und die Alternativhypothese angenommen. Die Lichtänderungen unterscheiden sich in ihrer Reaktionszeit.

Die in Abbildung 4.12 dargestellte grafische Aufbereitung der Reaktionszeiten nach Grundfarbe der ambienten Beleuchtung verdeutlicht, dass die Grundfarbe gerade bei der Farbänderung einen großen Einfluss auf die Reaktionszeiten hatte. Der Farbwechsel Blau auf Grün hatte hohe Reaktionszeiten zur Folge.

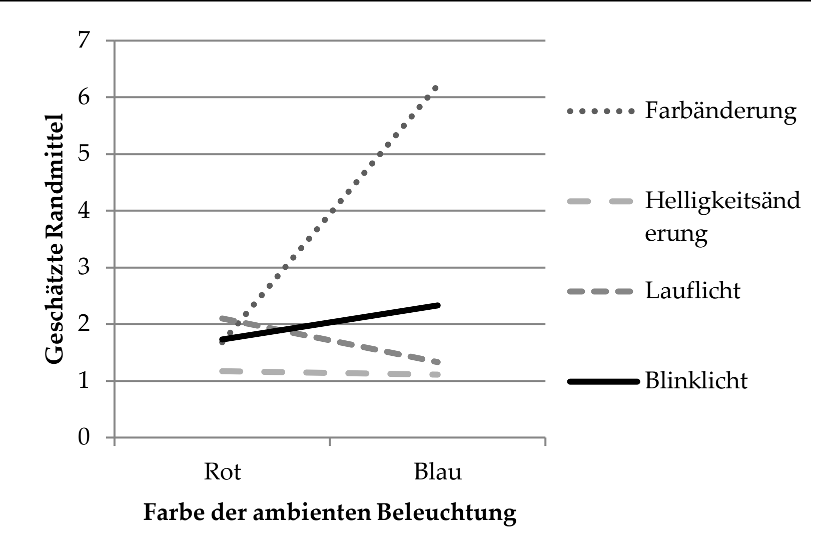


Abbildung 4.12: Darstellung des Interaktionseffektes zwischen Grundfarbe und Lichtänderung

Zur weiteren Überprüfung des Effektes zwischen Grundfarbe und Lichtänderung wurde testweise die gleiche Varianzanalyse mit nur drei Lichtmodalitäten (Helligkeitsänderung, Lauflicht und Blinklicht) als within-Variable berechnet. Das Ergebnis zeigte, dass der Effekt nun nicht mehr signifikant war, $F(1.63, 70.07) = 1.53$, $p = .224$ also nur auf den Werten unter der Bedingung Farbänderung beruhte.

Weiterhin erfolgte eine Analyse des Faktors „Alter". Hierfür fand eine Einteilung der Probanden in zwei Altersklassen statt. 16 der Probanden waren unter 45 Jahren und zehn Probanden waren über 45 Jahren. Bei der Untersuchung gab es keinen signifikanten Effekt zwischen Alter und Lichtänderung F (1.30, 31.21) = 3.18, $p = 0.075$. Das

Geschlecht (männlich, weiblich) ist ebenfalls in die Analyse aufgenommen worden. Es konnte kein signifikanter Einfluss des Geschlechtes auf die Reaktionszeiten, gemittelt über die Nebenaufgaben, ausgemacht werden $F(1.27, 30.51) = 2.24$, $p = .14$.

Für eine zweite Betrachtung wurden die Daten über die Lichtänderungen hinweg gemittelt, um zusätzlich nicht nur die Lichtänderungen, sondern auch die Reaktionszeiten unter den verschiedenen Nebenaufgaben zu betrachten. Für diese Analyse wurden Varianzanalysen mit dem Faktor Nebenaufgabe berechnet, bestehend aus drei Stufen, visueller, motorischer und kognitiver Nebenaufgabe. Der Faktor Grundfarbe der ambienten Innenraumbeleuchtung wurde wieder mit in die Analyse aufgenommen. Es zeigte sich aber weder ein signifikanter Effekt zwischen den einzelnen Nebenaufgaben $F(2, 108) = .33$, $p = .723$, noch eine signifikante Interaktion mit der Grundfarbe der ambienten Beleuchtung $F(2, 108) = .68$, $p = .51$. Die aufgestellte Nullhypothese konnte nicht widerlegt werden. Die Art der Nebenaufgabe hat keinen nachweisbaren Einfluss auf die Reaktionszeiten.

Der Faktor Alter beeinflusste die Reaktionszeiten in den verschiedenen Nebenaufgaben $F(2, 108) = .21$, $p = .810$ nicht. Der Faktor Geschlecht hatte ebenfalls keine signifikante Auswirkung auf die Reaktionszeiten der verschiedenen Nebenaufgaben $F(2, 108) = 2.04$, $p = .134$.

In der Studie wurden zu den vorangegangen analysierten Reaktionszeiten ebenso subjektive Daten aufgenommen. Wie in Kapitel 4.1.5 beschrieben, wurde den Probanden nach jeder wahrgenommenen

Kombination aus Lichtänderung und Nebenaufgabe ein Kurzfragebogen ausgehändigt. In der nachfolgenden Abbildung 4.13 wird ein Überblick über die Mittelwerte der Zwischenbefragung gegeben. Aufgrund der nicht wahrgenommenen Lichtänderungen erfolgte eine Betrachtung unabhängig von der Nebenaufgabe. In der grafischen Darstellung ist zu erkennen, dass es keine großen Unterschiede in der subjektiven Bewertung der einzelnen Lichtmodalitäten gab. In der statistischen Analyse konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den über die Nebenaufgaben gemittelten Antworten gefunden werden.

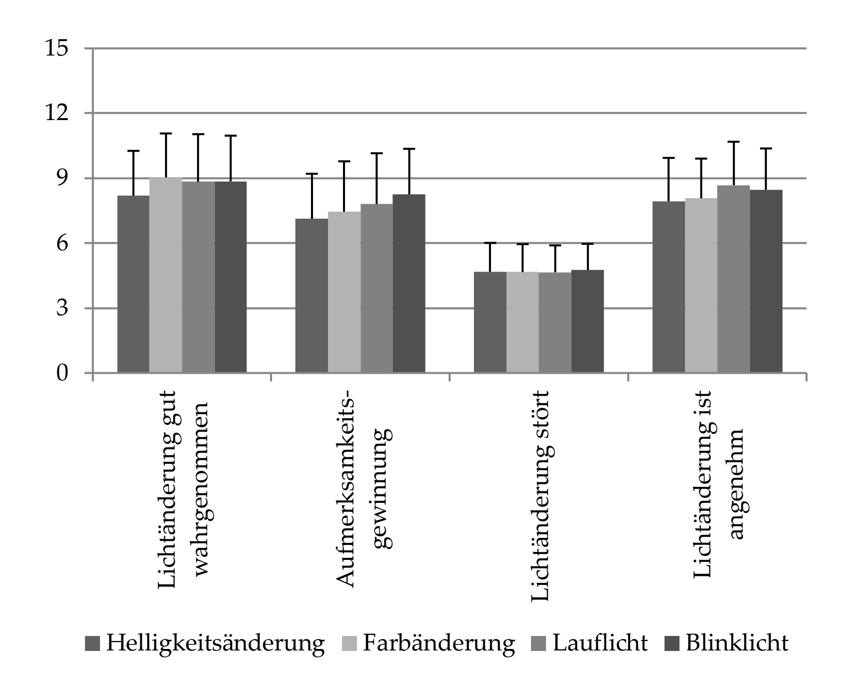


Abbildung 4.13: Gemittelte Werte über alle Nebenaufgaben der subjektiven Zwischenbefragung (0 stellt eine starke Ablehnung und 15 stellt eine starke Zustimmung dar)

Wie in Kapitel 4.1.5 beschrieben, wurde ein weiterer Fragebogen als Nachbefragung von allen Probanden ausgefüllt. Die Probanden berichten, dass sie ihre Aufmerksamkeit stark auf die Nebenaufgaben gerichtet haben (M = 11,68). Weiterhin hatten Sie die höchste Anstrengung bei der Kopfrechenaufgabe (M = 11,50). Sie hatten eine mittlere Zufriedenheit mit Ihren Leistungen in den Aufgaben (M = 7,76). Sie hatten das geringste wahrgenommene Fahrgeschehen bei der visuellen Aufgabe (M = 3,26). Wohingegen die Mittelwerte bei der kognitiven Aufgabe (M = 6,26) und bei der motorischen Aufgabe (M = 6,95) im mittleren Bereich liegen. Der Komfort der Lichtänderung ist mit mittel bis komfortabel bewertet worden (M = 9,34). 14 von 38 Probanden schätzten die Farbänderung und 11 von 38 Probanden schätzten das Lauflicht als die Lichtänderung ein, welche am schnellsten Ihre Aufmerksamkeit erregte. Bei dieser Antwort zeigte sich eine Abhängigkeit in der voreingestellten Grundfarbe. So hatten 11 von 19 Probanden das Lauflicht bei Blau und 13 von 19 Probanden die Farbänderung bei Rot angekreuzt. Wie vorangegangen dargestellt, zeigte sich diese Abhängigkeit ebenso bei den Reaktionszeiten der Farbänderung. Hier wurde auf Rot signifikant schneller als auf die Grundfarbe Blau reagiert. 57,9 % der Probanden schätzten eine solche Lichtänderung als sinnvoll ein, um die Aufmerksamkeit des Fahrers zu gewinnen. 42,1 % würden sich die gesehene Komfortfunktion in einem Fahrzeug anschaffen.

Das dritte subjektive Maß ist mithilfe eines semantischen Differentials aufgenommen worden. Die signifikanten Wortpaare sind in Abbildung 4.14 mit * gekennzeichnet.

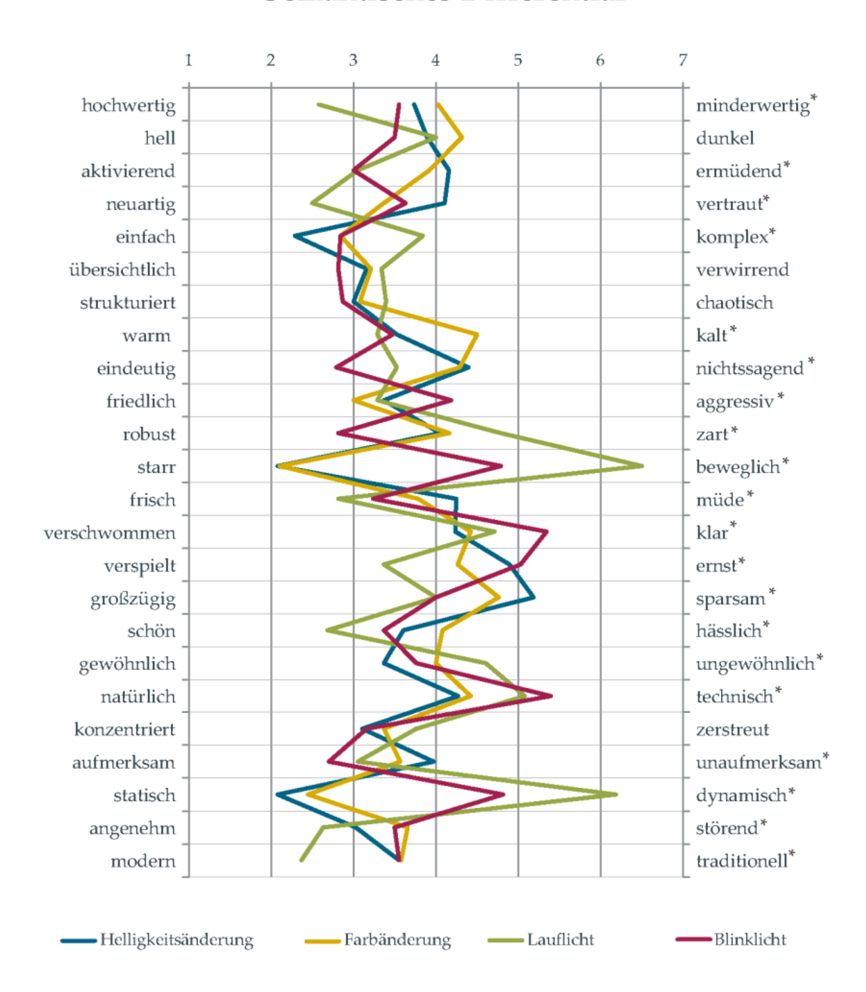


Abbildung 4.14: Ergebnisse der subjektiven Bewertung in Form eines semantischen Differentials, die Liniengraphen stellen Mittelwerte der subjektiven Bewertungen der vier im Versuch gezeigten Lichtänderungen dar
* = signifikanter Unterschied zwischen den Lichtänderungen

4.1.8 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

4.1.8.1 WAHRGENOMMENE LICHTÄNDERUNGEN

Gemittelt über alle Kombinationsmöglichkeiten wurden rund 70% aller Lichtänderungen von den Probanden wahrgenommen. Nicht wahrgenommene Lichtänderungen traten beim Lauflicht mit im Mittel 14 von 38 fehlenden Werten, bei der Farbänderung mit 25 von 38 fehlenden Werten und bei der Helligkeitsänderung mit 12 von 38 fehlenden Werten auf. Die Lichtänderung Blinklicht hatte in dieser Betrachtung nur 7 von 38 fehlenden Werten.

Das Blinklicht ging als Favorit aus der Untersuchung hervor. Herzuleiten ist dies aus der erhöhten Salienz einer sich wiederholenden Lichtänderung und auch durch den entgegen zum Lauflicht größeren, ohne Flanke, sofort aufleuchtenden Bereich. Dabei ist davon auszugehen, dass gleichzeitig mehr rezeptive Felder im Auge angesprochen werden als im kleineren aufleuchtenden Bereich des Lauflichtes. Beim Lauflicht werden die rezeptiven Felder nacheinander angesprochen.

4.1.8.2 REAKTIONSZEITEN

Die niedrigsten Reaktionszeiten ergaben sich in der Kombination aus kognitiver Aufgabe und Helligkeitsänderung von $M = 1.18$ s (SD = 0.34 s). Die höchsten Reaktionszeiten wurden in der Kombination aus kognitiver Aufgabe und Farbänderung mit M = 5.98 s

(SD = 8.09 s) gemessen. Die allgemein schlechte Wahrnehmung von Farbänderungen im peripheren Bereich ist in der großen Streuung der Reaktionszeiten bei der Lichtänderung Farbänderung während der kognitiven und motorischen Nebenaufgabe zu beobachten. In der visuellen Nebenaufgabe wurde die Farbänderung etwa gleich schnell aber weniger wahrgenommen. Ein weiterer Ansatz zur Interpretation lässt sich aus der hohen visuellen Aktivität und der schwarz-weißen Nebenaufgabe herleiten. So sind unter dieser speziellen Nebenaufgabe dann Farbänderungen besser sichtbar als unter den anderen Nebenaufgaben. Den Fixationspunkt konnten die Probanden bei der motorischen und kognitiven Aufgabe frei wählen, dadurch haben die Probanden die Farbänderung bei diesen Nebenaufgaben teilweise erst nach längerer Zeit bemerkt. Weiterhin haben die zwei getesteten Farbänderungen unterschiedlich gut funktioniert. Dies lässt sich auf die unterschiedliche Verteilung der Farbrezeptoren zurückführen, siehe Kapitel 2.2. Die im peripheren Sehbereich besser ansprechenden Stäbchenzellen, welche auf Helligkeitsänderungen reagieren, bringen die kürzesten Reaktionszeiten der Helligkeitsänderung hervor.

Für die Reaktionszeiten auf die Lichtänderungen war es unbedeutend, welches Alter oder Geschlecht die Probanden aufwiesen. Die gewählten Lichtänderungen wurden sowohl für junge als auch ältere Fahrer aus Sicht der Reaktionszeiten anwendbar.

Ebenso hat die Art der Nebenaufgabe keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten gezeigt. Sie waren von allen Probanden problemlos durchführbar.

4.1.8.3 SUBJEKTIVE FRAGEBÖGEN

Innerhalb der Lichtänderungen gab es in den Kurzfragebögen keine signifikanten Unterschiede in der subjektiven Bewertung. Ein Grund hierfür kann die kurze Sichtbarkeit der Lichtänderungen sein. Weiterhin wurde in der simulierten Autobahnfahrt keine explizit zur Lichtfunktion passende Gefahrensituation dargestellt, so dass eine subjektive Bewertung schwer möglich war.

Die Bewertung der Lichtänderungen erfolgte in der Nachbefragung als nicht störend. Weiterhin unterschied sich die subjektive Bewertung der schnellsten Aufmerksamkeitsgewinnung von den objektiven Werten. Die Probanden schätzten hier die aufwendigeren Lichtänderungen wie Lauflicht und Farbänderung als besser ein. Diese Lichtmodalitäten sind vom erlebten Serienstand weiter entfernt als eine Helligkeitsanpassung, welche beispielsweise in aktuellen Displays schon zwischen Tag- und Nachtsituationen oder bei Signalleuchten angewandt werden.

Im semantischen Differential wurde das Lauflicht mit den meisten positiven Wortpaaren besser bewertet. Das Lauflicht schnitt damit bei den Probanden subjektiv gut ab.

4.1.9 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Schlussfolgerungen ergeben sich aus der beschriebenen Datenanalyse und der Ergebnisinterpretation. Die teilweise große Streuung

und die große Abhängigkeit der Grundfarbe der ambienten Innenraumbeleuchtung für die Lichtmodalität Farbänderung führt zum Ausschluss dieser Lichtänderung aus der nachfolgenden Konzeptarbeit der Innenraumlichtfunktion.

Die Wahrscheinlichkeit, dass Probanden die Lichtänderungen unter den einheitlichen Bedingungen dieser Studie, permanent gleiche Helligkeit und gleiches Autobahnszenario, nicht gesehen haben, ist noch zu hoch und muss in der nachfolgenden Weiterentwicklung Berücksichtigung finden.

Die Art der Nebenaufgabe hatte keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten. So kann in weiteren Untersuchungen eine kombinierte Nebenaufgabe für die simulierte Ablenkung genutzt werden. Für die spätere Innenraumlichtfunktion ist damit die Art der Ablenkung des Fahrers nicht weiter als Einschränkung zu sehen. Dies erleichtert eine mögliche Anwendung der Innenraumlichtfunktion.

Durch die subjektiv gute Bewertung des Lauflichtes im semantischen Differential wird diese Lichtänderung weiterhin berücksichtigt.

Ebenso werden Helligkeitsänderung durch die kürzesten Reaktionszeiten und das Blinklicht durch die höchste Wahrnehmungswahrscheinlichkeit in die weitere Ausarbeitung übernommen.

4.2 STUDIE B: NACHUNTERSUCHUNGEN ZU HELLIGKEITS- UND BEWEGUNGSÄNDERUNG

4.2.1 EINORDNUNG UND WISSENSCHAFTLICHER KONTEXT

Die Lichtänderungen „Helligkeitsänderung“, „Blinklicht“ und „Lauflicht“ sind aus Studie A in die zweite Untersuchung (Studie B) übernommen worden. Die nicht wahrgenommenen Lichtänderungen aus Studie A lassen die Frage nach der optimalen Helligkeit aufkommen. Ebenso ist die Ausdehnung der Lichtänderung eine interessante Frage in Bezug auf die mögliche Umsetzung der Innenraumlichtfunktion in einem Serienfahrzeug.

Zu bearbeitende Themenkomplexe für die zweite Untersuchung sind demnach die Helligkeit der Lichtänderungen bei Nacht, die Bewegung von Lichtänderungen im peripheren Sichtbereich und das Erarbeiten einer kombinierten Nebenaufgabe.

MANTIUK ET AL [87] sind der Frage nach der optimalen Displayhelligkeit und Farbe nachgegangen. Ihr Ziel war es, Displays von der Helligkeit und Farbe so einzustellen, dass sie in Dunkelheit genutzt werden können und gleichzeitig die Wahrnehmung der Umgebung noch gut möglich ist. Als Ergebnisse lassen sich festhalten, dass langwelligeres Licht am wenigsten hindernd für die Nachtsicht ist, zudem beträgt in Abhängigkeit der Farbe und dem dargestellten Inhalt die optimale Helligkeit circa 20 … 40 cd/m². Eine thematisch ähnliche

Arbeit ist als Dissertation von Mitautor REMPEL [88] erschienen und bestätigt diese Werte.

ZADEMACH UND ABENDROTH [89], welche eine Lichtleiste ergonomisch ausgelegt haben, hatten das Ziel, mit dieser ein prädiktives Fahrerassistenzsystem für kritische Situationen aufzustellen und den Fahrer bei Gegenmaßnahmen zu unterstützen. Ihre Untersuchungen gingen dabei auf verschiedene Gestaltungsgrößen ein. Sie untersuchten das Prinzip der Signalerzeugung, die geometrische Gestaltung und den Signalverlauf. Ebenso wurden verschiedene Helligkeiten und eine blinkende Anzeige untersucht. Die schnellste Aufmerksamkeit bekam das blinkende Signal, die höchste Aufmerksamkeit erhielt ein hoch in die Scheibe eingespiegeltes Signal. Die DIN EN ISO 15008 [72] beschreibt, dass der Fahrer durch Anzeigen im Fahrzeug nicht geblendet werden darf, dazu gehört auch eine funktionale ambiente Innenraumbeleuchtung.

WERNEKE UND VOLLRATH [90] haben eine Untersuchungsmethode von peripheren Warnsignalen entwickelt. In der Untersuchung sind in einem Laboraufbau verschiedene Warnsignale mit dem Ziel, die Aufmerksamkeit in eine bestimmte Richtung zu lenken, getestet worden. Hierfür wurden auf einer Leinwandprojektion verschiedene zu lösende Aufgaben präsentiert. Dabei variierten die Größe, der Farbkontrast, die Form und die Frequenz der Lichtsignale. Als interessante Ergebnisse lassen sich festhalten, dass die Frequenz des Blinklichts keine Auswirkung auf die Reaktionszeiten hatte, dass grö-

ßere Symbole leichter und ein großer Kreis in der Peripherie am besten wahrgenommen wurden. Hierbei ist zu beachten, dass die Stichprobe sechs Versuchspersonen umfasste.

PFROMM ET AL. [91] haben eine 360° LED Leiste aufgebaut und zur Anzeige von anderen Fahrzeugen und somit auch zur Blicklenkung auf relevante Verkehrsobjekte genutzt. In allen durchgeführten Szenarien konnte der Mittelwert der Dauer der Blickzuwendungszeit zum Objekt verringert werden, jedoch kam es durch das System in einem Anwendungsfall auch zu einer höheren Streuung als ohne System. Die Autoren schlussfolgern, dass in einigen Szenarien die Interpretation des neuen Systems zu lange dauert und dies durch eine vorherige Erklärung des Lichtsignals reduziert werden könnte. Sie schreiben weiterhin, es könnte sinnvoll sein, wenn das System nur bei Fahrern aktiviert wird, welche nicht auf das kritische Objekt schauen. Zur genutzten LED Leiste gibt es keine lichttechnischen Daten und die Untersuchung wurde mit 13 Probanden durchgeführt.

GIBBONS ET AL. [92] haben im Rahmen des National Cooperative Highway Research Program Untersuchungen zur Wahrnehmung von peripheren Warnsignalen in einer Realfahrt vorgenommen. Die Signale an Einsatzfahrzeugen der Straßenwacht sollten sowohl bei Tag als auch bei Nacht gut wahrgenommen werden und die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer schnell gewinnen. Dabei ist der maximale Winkel zur peripheren Wahrnehmbarkeit unter verschiedenen Lichtfarben untersucht worden. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass bernsteinfarbenes und weißes Licht in der Peripherie besser

wahrgenommen wurde als blaues oder rotes Licht. Diese beiden Farben erhielten zudem die meiste Aufmerksamkeit.

Aus den zitierten Arbeiten sind Ansätze aus deren Methode und erste Anhaltspunkte zur Leuchtdichte in das Studiendesign dieser Untersuchung eingeflossen.

4.2.2 TECHNISCHER AUFBAU

Der Versuchsaufbau dieser Simulatorstudie wurde mit den identischen LED Leisten aus Studie A umgesetzt, siehe Kapitel 4.1.3. Die ambiente Innenraumbeleuchtung war an einer vereinfachten Sitzkiste aus *item* Profilen befestigt. An der Verkabelung und dem Hardwareaufbau der LED Leiste fand keine weitere Veränderung statt. Die Abbildung 4.15 stellt die Position des Kontrollcomputers und des externen Bedienteils im Versuchsaufbau dar.

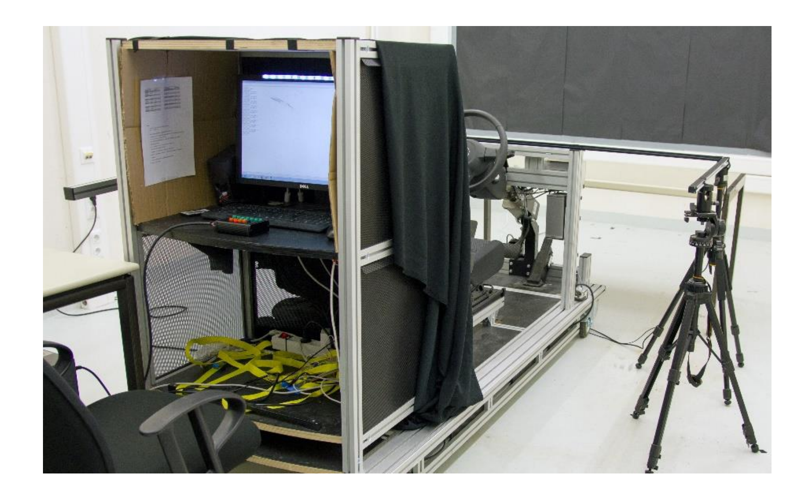


Abbildung 4.15: Versuchsleiterarbeitsplatz mit Kontrollcomputer für technischen Aufbau mit Verdunklung des Bildschirmes in Richtung Proband und Position des externen Bedienteils mit Tastern

Das Abrufen der einzelnen Lichtänderungen und die damit verbundene Szene der sich ändernden Leuchtdichte wurden mithilfe des externen Bedienpanels mit Tastern realisiert. Die Anhebung der Leuchtdichte erfolgte im Programm automatisch.

Zusätzlich zur Leuchtdichteaufnahme wurden alle Leuchtdichtestufen mithilfe eines Colorimeters der Firma *admesy* (BRONTES-LL COLORIMETER) dem Weißpunkt der Normfarbtafel angenähert. Die mit dem RGB LED Streifen erzeugten Leuchtdichtestufen unterschieden sich nicht im Farbset. Alle Messungen erfolgten im komplett abgedunkelten Versuchsraum.

4.2.3 FORSCHUNGSFRAGEN

Folgende Forschungsfragen ergeben sich aus dem Resultat der nicht gesehenen Lichtänderungen aus Studie A und sollen mit dieser Untersuchung beantwortet werden.

- Ab welchem Leuchtdichteunterschied nehmen 90% der Probanden eine Lichtänderung wahr?
- Unterscheiden sich die einzelnen Lichtänderungen in ihrer Wahrnehmungsschwelle?
- Beeinflusst die Ausdehnung die Wahrnehmungsschwelle?
- Wie werden die verschiedenen Lichtänderungen subjektiv bewertet?

In der Untersuchung soll den folgenden Nullhypothesen nachgegangen werden:

- Die Mittelwerte der Leuchtdichten für die 90 % Wahrnehmungsschwelle der drei Lichtänderungen unterscheiden sich nicht.
- Die Mittelwerte der Leuchtdichten für die 90 % Wahrnehmungsschwelle unterscheiden sich nicht zwischen den drei Ausdehnungen.

Durch diese Untersuchung soll die geringstmögliche Leuchtdichte bei gleichzeitig sichergestellter Wahrnehmung der Lichtfunktion gefunden werden.

4.2.4 METHODE

Die Untersuchung ist als Nachuntersuchung mithilfe eines Tischaufbaues geplant worden. Die Studie wurde in einer abgedunkelten Garage durchgeführt. In diesem Raum konnte das komplette Licht abgeschaltet und mithilfe von Kunstlicht eine stabile Außenbeleuchtungsstärke eingestellt werden. Das Szenario entsprach einer nächtlichen Autobahnfahrt. Am Auge des Probanden wurden 0,04 lx und vertikal auf dem Armaturenbrett 0,07 lx Beleuchtungsstärke gemessen. Die stabile Versuchsumgebung wurde durch Leuchten im Bereich des Versuchsleiterarbeitsplatzes hergestellt. [93]

Der Arbeitsplatz des Versuchsleiters befand sich im Rücken des Probanden und wurde mit schwarzem Stoff vom Probanden abgetrennt, so dass kein Licht in den vorderen Raumteil gelangen konnte und damit der Versuchsleiter den Probanden nicht ablenken konnte. Die Versuchsumgebung des Probanden war eine Sitzkiste, welche über einen Fahrersitz verfügte. Im vorderen Bereich befand sich ein Lenkrad. Auf die Einbindung einer Fahrsimulationswelt oder weiterer Anzeigen in der Sitzkiste wurde verzichtet, um die Anzahl der möglichen Einflussfaktoren so gering wie möglich zu halten.

Die Wahrnehmungsschwelle wurde durch das Präsentieren von neun ansteigenden Leuchtdichteflanken ermittelt. Die Lichtänderungen wurden auf der vorderen mittigen Lichtleiste mit dem Beginn in der Mitte und Verlauf nach rechts außen angezeigt. Die Leuchtdichte stieg in definierten Schritten an, wobei nach jeder Lichtänderung 10 Sekunden zurück auf die Grundhelligkeit geschaltet wurde. Dadurch konnte jede Lichtänderung als einzelne Lichtmodalität mit

verschiedenen Leuchtdichten bewertet werden. Die Lichtänderungen sind analog aus Studie A übernommen worden, der Farbwechsel entfiel. Der Proband gab eine mündliche Rückmeldung, wenn er eine Lichtänderung wahrgenommen hat. In der folgenden Tabelle 4.5 sind die Leuchtdichten der Grundhelligkeit und die Leuchtdichten der neun Wahrnehmungsstufen dargestellt.

Tabelle 4.5: Leuchtdichten der Grundhelligkeit und der neun Wahrnehmungsstufen aus Studie B

Wahrnehmungsstufe	Leuchtdichte gemessen
0 = Grundhelligkeit	1,87 cd/m²
1	2,27 cd/m²
2	2,75 cd/m²
3	3,34 cd/m²
4	4,23 cd/m²
5	5,58 cd/m²
6	6,45 cd/m²
7	9,44 cd/m²
8	13,45 cd/m²
9	25,16 cd/m²

Alle Lichtänderungen hatten die Farbe Weiß. Durch diese Anpassung war es möglich, Einflussfaktoren der Farbe zu vermeiden, siehe dazu Ergebnisse der Studie A, Kapitel 4.1.9. Die Farbe jeder Wahrnehmungsstufe wurde auf den Unbuntpunkt (x=0,33; y=0,33) eingestellt.

Zusätzlich zu der Variation der Leuchtdichte wurde auch die Wahrnehmungsschwelle für drei verschiedene Ausdehnungen abgefragt.

Dafür sind alle Lichtänderungen in ca. 14 cm (20 LEDs), in ca. 35 cm (50 LEDs) und in ca. 72 cm (103 LEDs) dargestellt worden.

Für die Durchführung eines standardisierten Versuches und zur visuellen, kognitiven und motorischen Belastung erfolgte eine Ablenkung aller Probanden mit einer Nebenaufgabe. Im Versuch wurde dafür die Aufgabe eines N-back Tasks auf einem Tablet mit niedriger Displayhelligkeit verwendet. [94, 95]

Der N-back Task ist eine Nebenaufgabe, in der ein Gitter aus neun weißen Feldern dargestellt wird. Alle 2 Sekunden änderte sich das angezeigte Muster. Jedes Muster setzte sich aus acht hellen und einem dunklen Feld zusammen. Das dunkle Feld änderte sich mit jedem neuen Muster. Der Proband sollte durch Klicken auf das Muster die Rückmeldung geben, wenn das vorletzte mit dem aktuellen Bild übereingestimmt hat. Der Proband musste demzufolge drei Muster wahrnehmen, um eine richtige Antwort geben zu können. Die Aufgabe wurde permanent während der Präsentation der Lichtänderungen bearbeitet. Die durchgeführte Variante der Aufgabe ist ein 2-back Task. Diese Nebenaufgabe belastet den Probanden visuell, kognitiv und motorisch und ist in vielen Untersuchungen genutzt und evaluiert worden. [96] In Abbildung 4.16 ist ein beispielhafter Zustand innerhalb der Nebenaufgabe abgebildet.

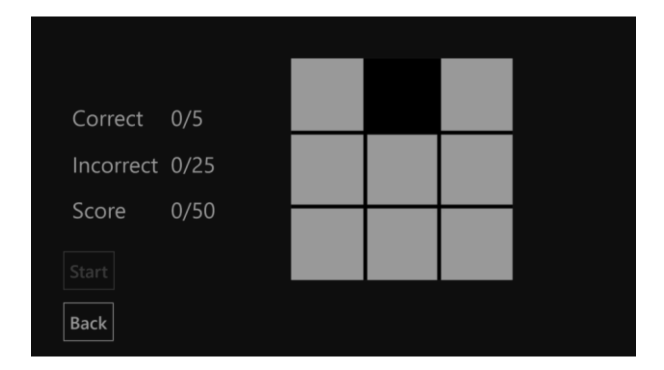


Abbildung 4.16: Kombinierte Nebenaufgabe in Form eines N-back Tasks, Darbietung auf einem Tablet

Das Probandenkollektiv setzte sich aus 34 Versuchsteilnehmern zusammen, welche aus dem Probandenpool der Volkswagen AG stammten. Vier Probanden benötigten eine Brille, fünf Probanden benutzten Kontaktlinsen als Sehhilfe und 25 Probanden besaßen keine Sehhilfe. Am Versuch nahmen 16 Frauen und 18 Männer teil. Die Alterseinteilung wurde analog zur Studie A vorgenommen. 19 Probanden waren unter beziehungsweise gleich 45 Jahre und 15 Probanden über 45 Jahre alt. Das mittlere Alter lag bei knapp 41 Jahren. Weitere Daten zur Beschreibung des Probandenkollektivs wurden in Tabelle 4.6 zusammengefasst.

Tabelle 4.6: Soziodemografische Daten zur Stichprobe der Studie B

Fragestellung	Prozentuale Antwort der Stichprobe				
Jährliche Fahrleistung	47,1 % unter 15.000 km	41,2 % unter 30.000 km	11,8 % unter 45.000 km		
Anteile der Nacht-fahrten	44,1 % unter 20%	47,1 % unter 40%	8,8 % unter 60%		
Anteile der Auto-bahnfahrten	32,4 % unter 20 %	32,4 % unter 40 %	32,4 % unter 60 %	2,9 % unter 80 %	
Anstrengung bei Nachtfahrten	2,9 % sehr wenig	35,3 % wenig	29,4 % mittel	32,4 % stark	0 % sehr stark
Erfahrung mit Fah-rerassistenzsyste-men	5,9 % sehr gering	17,6 % gering	44,1 % mittel	20,6 % hoch	11,8 % sehr hoch
Begriff "ambiente In-nenraumbeleuch-tung" bekannt	91,2 % ja	8,8 % nein			
Bereits einmal mit ambienter Innen-raumbeleuchtung gefahren	73,5 % ja	20,6 % nein	5,9 % keine An-gabe		

Die Studie wurde als Design mit Messwiederholungen geplant. Jeder Proband wurde in der Durchführung mit allen Versuchsbedingungen zwei Mal konfrontiert (within-subject-Design). Die unabhängigen Variablen sind die jeweils dreistufigen Lichtänderungen und die Ausdehnungen. Die abhängigen Variablen bezogen sich auf den subjektiven Fragebogen mit vier Items und auf die Wahrnehmungsstufe. Die Reihenfolge der Versuchsbedingungen wurde nach dem lateinischen Quadrat randomisiert. [69]

Tabelle 4.7: Versuchsdesign Studie B

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">(2 Durchgänge)</th><th colspan="3">Ausdehnung (3 Stufen, within)</th></tr>
<tr><th>schmal</th><th>mittel</th><th>breit</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Lichtänderung (3 Stufen, within)</td><td>Helligkeitsänderung</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Blinklicht</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>Lauflicht</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr>
</table>

Zum Ende jeder wahrgenommenen Lichtänderung bearbeiteten die Probanden einen aus vier Items bestehenden Kurzfragebogen, siehe Tabelle 4.8.

Tabelle 4.8: Kurzfragebogen und die jeweilige Skaleneinteilung

	Bitte wählen Sie aus, wie sehr Sie den nachfolgenden Aussagen zustimmen.
Frage 1	Es fiel mir leicht, die Lichtänderung wahrzunehmen.
Skala	lehne stark ab – lehne ab – unentschieden – stimme zu - stimme stark zu
Frage 2	Die Lichtänderung eignet sich dafür, meine Aufmerksamkeit zu gewinnen.
Skala	lehne stark ab – lehne ab – unentschieden – stimme zu - stimme stark zu
Frage 3	Die Lichtänderung stört mich.
Skala	lehne stark ab – lehne ab – unentschieden – stimme zu - stimme stark zu
Frage 4	Die Lichtänderung ist angenehm.
Skala	lehne stark ab – lehne ab – unentschieden – stimme zu - stimme stark zu

Jedes Item konnte auf der bereits bekannten 15 stufigen Skala, welche nach HELLER aufgestellt wurde, beantwortet werden. [81, 97]

4.2.5 DURCHFÜHRUNG

Die Versuchsdauer pro Proband lag bei ca. 70 Minuten. Der Durchführungszeitraum erstreckte sich über 9 Durchführungstage. Zu Beginn des Versuchs wurde eine Aufklärung und Einverständniserklärung für Video- und Audioaufzeichnungen unterschrieben. Daran schloss sich ein demografischer Fragebogen, die Instruktion

des Versuchsablaufes und der Nebenaufgabe an. Die Probanden wurden weiterhin auf die Möglichkeit eines Abbruchs des Versuchs im Falle von Übelkeit hingewiesen. Der Versuchsraum ist von Beginn an auf ein Nachtniveau abgedunkelt worden, auf welches sich die Probanden während der Instruktionen ca. zehn Minuten lang adaptieren konnten. Die Instruktion erfolgte mit einem Hinweis auf die Lichtleiste und die möglichen Lichtänderungen. Der Versuch wurde somit offen durchgeführt. Den Probanden ist mitgeteilt worden, dass die Konzentration auf der Nebenaufgabe liegen sollte und es einer mündlichen Rückmeldung für eine wahrgenommene Lichtänderung bedarf.

Nach jeder wahrgenommenen Lichtänderung wurde den Probanden diese Lichtänderung noch einmal vorgeführt, um daraufhin noch präziser den Kurzfragebogen beantworten zu können. Jede Kombination der Lichtänderung wurde einem Probanden im gesamten Versuch zwei Mal dargestellt, um die Anzahl der Messwerte zu erhöhen. Falls Probanden keine Lichtänderung wahrgenommen haben, folgte gleich die nächste Variante.

In Anhang B.2.1 befindet sich der detaillierte Versuchsleiterbogen mit Instruktionen und der zeitliche Ablauf des Versuchs.

4.2.6 Analyse der Daten

Zu Beginn der statistischen Analyse der Daten aus dem Versuch sind die Stufen zur minimalen Wahrnehmung betrachtet und Mittelwerte

berechnet worden. Zwischen dem Erst- und Zweitkontakt gab es Signifikanzen im Mittelwertvergleich (t-Test). Zum Ausschluss dieser Lerneffekte wurde in der folgenden Analyse nur der Erstkontakt berücksichtigt. Zur ersten Darstellung der Wahrnehmungsschwellen wurden zunächst Boxplots in Abhängigkeit zur Ausdehnung, sortiert nach den Lichtänderungen, erstellt.

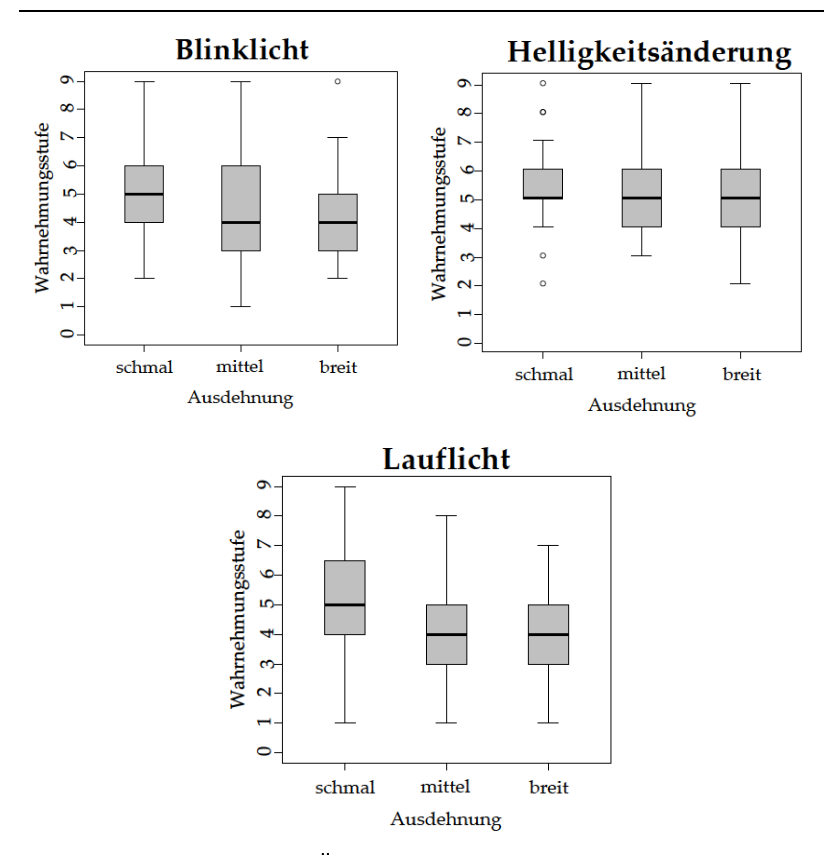


Abbildung 4.17: Boxplots zur Übersicht der Wahrnehmungsstufen, gruppierte Darstellung nach den Lichtänderungen und Feingliederung nach den Ausdehnungen

Die Mittelwerte der Wahrnehmungsstufe bei der Lichtänderung Blinklicht lagen für die Ausdehnung schmal bei $M = 5.00$, $SD = 1.72$, bei der Ausdehnung mittel bei $M = 4.21$, $SD = 2.04$ und bei Ausdehnung breit bei $M = 4.35$, $SD = 1.55$. Die Lichtänderung Helligkeit wies folgende Mittelwerte auf: $M_{schmal} = 4.85$, $SD = 2.09$, $M_{mittel} = 5.24$,

SD = 1.58 und M_{breit} = 5.32, *SD* = 1.79. Das Lauflicht hatte bei der Ausdehnung schmal den Mittelwert *M* = 4.56, *SD* = 2.26, die Ausdehnung mittel mit *M* = 4.03, *SD* = 1.73 und Ausdehnung breit *M* = 4.15, *SD* = 1.60. Im Versuch wurden zudem 12 von 306 Lichtänderungen nicht wahrgenommen, siehe Tabelle 4.9.

Tabelle 4.9: Anzahl der nicht wahrgenommenen Lichtänderungen bei folgender Kombination aus Lichtänderung und Ausdehnung

Anzahl	Kombination aus Lichtänderung und Ausdehnung
3	Helligkeitsänderung und schmaler Ausdehnung
1	Blinklicht und schmaler Ausdehnung
2	Blinklicht und mittlerer Ausdehnung
3	Lauflicht und schmaler Ausdehnung
2	Lauflicht und mittlerer Ausdehnung
1	Lauflicht und breiter Ausdehnung

Für die weitere Analyse wurden für alle neun Bedingungen Varianzanalysen mit Messwiederholungen berechnet, da alle Probanden jede Kombinationsmöglichkeit aus Lichtänderung und Ausdehnung präsentiert bekamen. Mithilfe der Boxplots wurden aus den Wahrnehmungsstufen die Extremwerte entfernt. Daraufhin ist eine Mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholungen gerechnet worden. Die Stichprobengröße mit $n > 30$ ist groß genug für dieses parametrische Verfahren. Ebenfalls wurde die Voraussetzung der Sphärizität mit-

hilfe des Mauchly-Testes überprüft. Für den Innersubjekteffekt Lichtänderung war keine Korrektur nötig. Für den Faktor Ausdehnung musste eine Korrektur nach Huynh-Feldt vorgenommen werden.

Bei der Betrachtung der Wahrnehmungsstufen wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Lichtänderungen $F(2,66) = 6.78$, $p = .002$ festgestellt. Diesbezüglich benötigt die Lichtänderung Lauflicht eine signifikant geringere Wahrnehmungsstufe als die Helligkeitsänderung. Die aufgestellte Nullhypothese wurde damit widerlegt und die Alternativhypothese angenommen. Die Mittelwerte der Leuchtdichten für die 90 % Wahrnehmungsschwelle unterschieden sich zwischen den Lichtänderungen.

Tendenziell ließ sich ebenfalls feststellen, dass die Lichtänderung Blinklicht eine geringere Wahrnehmungsstufe als die Helligkeitsänderung benötigt ($p = .063$). Die Lichtänderungen Lauflicht und Blinklicht unterschieden sich in dieser Untersuchung nicht.

Die drei verschiedenen Ausdehnungen der einzelnen Lichtänderungen ergaben statistisch keinen signifikanten Haupteffekt. Die aufgestellte Nullhypothese konnte nicht widerlegt werden. Die Mittelwerte der Leuchtdichten für die 90 % Wahrnehmungsschwelle unterscheiden sich nicht nachweisbar zwischen den drei Ausdehnungen.

Deskriptiv ließ sich feststellen, dass die Wahrnehmungsstufen der Leuchtdichte bei Lauflicht und Blinklicht mit der mittleren und breiten Ausdehnung geringer waren. Die Wahrnehmungsstufe bei der

Lichtänderung Helligkeitsänderung war bei allen drei Ausdehnungen gleich groß, nur die Streuung nahm deskriptiv leicht zu. Innerhalb der Ausdehnung schmal war für alle drei Lichtänderungen ein ähnlicher Median zu beobachten.

Der Fragebogen stellte die zweite abhängige Variable dar und wurde ebenfalls statistisch analysiert. Die Datenanalyse erfolgte mithilfe der Berechnung einer Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen über die drei Lichtänderungen bei allen drei Ausdehnungen. In die Berechnung sind die vier zu bewertenden Aussagen von allen 34 Probanden eingeflossen. Deskriptiv ergaben sich folgende Mittelwerte über die drei Ausprägungen, siehe Abbildung 4.18.

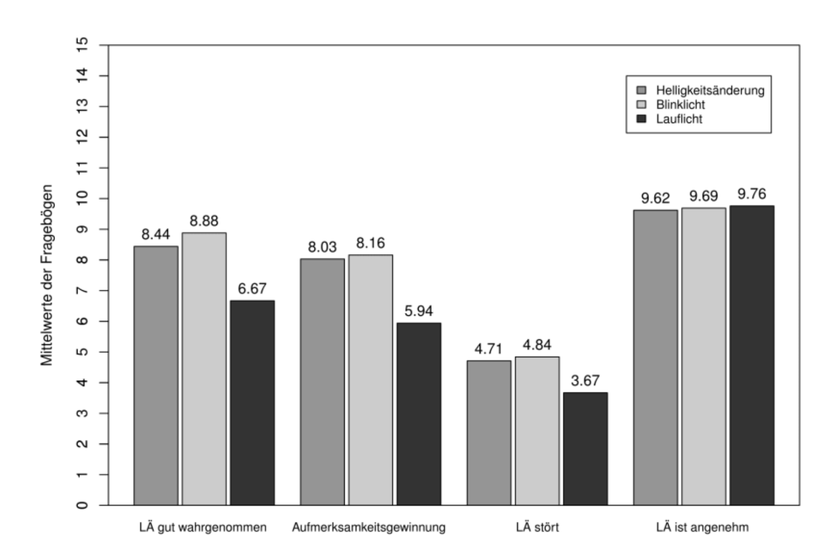


Abbildung 4.18: Mittelwerte der Items der subjektiven Fragebögen, gemittelt über alle drei Ausprägungen der Ausdehnung, LÄ = Lichtänderung

In den subjektiven Aussagen der Probanden war zwischen den verschiedenen Ausdehnungen kein signifikanter Haupteffekt bei allen vier Aussagen aufgetreten.

In der ersten zu bewertenden Aussage „Es fiel mir leicht, die Lichtänderung wahrzunehmen.“, ist die Sphärizität der Variablen Lichtänderung nicht gegeben, sodass eine Huynh-Feldt Korrektur vorgenommen wurde. Innerhalb dieser Aussagen der Probanden gab es einen signifikanten Haupteffekt zwischen den Lichtänderungen $F(1.790,48.319) = 11.875$, $p < .001$ und einen Interaktionseffekt zwischen Lichtänderung und Ausdehnung $F(3.580,96.665) = 2.671$, $p < .042$. Der paarweise Vergleich ergab, dass das Blinklicht subjektiv besser als das Lauflicht und die Helligkeitsänderung wahrgenommen wurde. Die Helligkeitsänderung wurde subjektiv tendenziell besser als das Lauflicht wahrgenommen. Im Interaktionseffekt zwischen Lichtänderung und Ausdehnung war eine Abhängigkeit der Bewertung der Helligkeitsänderung von der Breite zu beobachten. Die schmale Ausdehnung bewerteten die Probanden negativer als die mittlere und die breite Ausdehnung.

In der zweiten Aussage „Die Lichtänderung eignet sich dafür, meine Aufmerksamkeit zu gewinnen.“ gab es ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt zwischen den Lichtänderungen $F(2,54) = 8.653$, $p = .001$. Das Blinklicht wurde in Bezug auf die Aufmerksamkeitslenkung positiver bewertet als das Lauflicht. Die Helligkeitsänderung wurde zudem als besser eingeschätzt als das Lauflicht. Zwischen Blinklicht und Helligkeitsänderung gab es keinen signifikanten Unterschied in der subjektiven Bewertung.

Bei der Aussage, ob die Lichtänderung störend sei, war bei der Ausdehnung und den Lichtänderungen keine Sphärizität gegeben. Für die Variable Ausdehnung ($p > .75$) wurde eine Huynh-Feldt Korrektur und bei der Variable Lichtänderung ($p < .75$) eine Greenhouse Geisser Epsilon Korrektur vorgenommen. Es war kein Haupteffekt zwischen den Lichtänderungen und kein Haupteffekt innerhalb der Ausdehnungen zu beobachten. Es gab lediglich einen Interaktionseffekt zwischen Lichtänderung und Ausdehnung, das Lauflicht wurde bei schmaler Ausdehnung negativer bewertet $F(2.407,64.994) = 4.468$, $p = .011$.

Für die vierte Aussage „Die Lichtänderung ist angenehm.“ war die Sphärizität für die Variable Ausdehnung gegeben. Für die Variable Lichtänderungen ($p > .75$) wurde eine Huynh-Feldt Korrektur vorgenommen. In der Analyse dieser subjektiven Frage ergab sich kein signifikanter Effekt $F(1.707,46.079) = .727$, $p = .488$.

4.2.7 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

4.2.7.1 WAHRNEHMUNGSSCHWELLE

Die Leuchtdichten der Wahrnehmungsschwellen wurden für eine kumulierte Wahrnehmungswahrscheinlichkeit von 90 % berechnet. Die nächsthöhere Stufe der Wahrnehmung besaß demnach immer eine Wahrnehmungswahrscheinlichkeit größer 90 %. Die Grenzen wurden für die mittlere Ausdehnung berechnet, da es in der Analyse keine Verbesserung, also keine geringere Wahrnehmungsschwelle

zwischen mittlerer und breiter Ausdehnung gab. Dagegen war die Wahrnehmungsschwelle in der schmalen Ausdehnung, laut Analyse der Daten, tendenziell größer. Die mittlere Ausdehnung stellte demnach den besten Kompromiss aus Wahrnehmungsstufe, technischem Aufbau und der konzeptseitigen Implementierung dar. Um 90 % der Probanden die Wahrnehmung der Lichtänderung zu garantieren, sollte eine Leuchtdichte für die Lichtänderung von mind. 13,45 cd/m² gewählt werden, siehe dazu Abbildung 4.19.

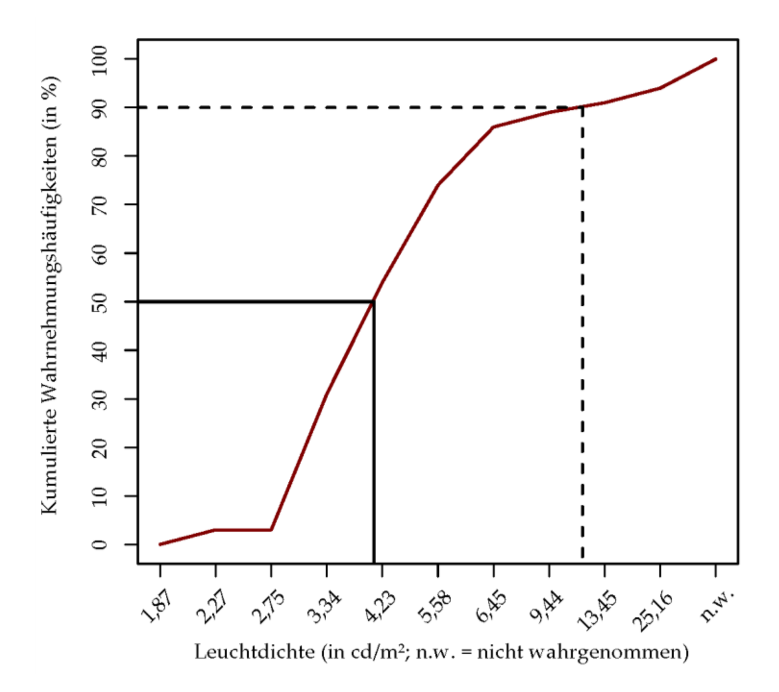


Abbildung 4.19: Kumulierte Wahrnehmungshäufigkeiten der Leuchtdichtestufen der mittleren Ausdehnung für die Lichtänderung Lauflicht

Bei diesen Ergebnissen wurde sowohl die Umgebungsbeleuchtung, als auch das eingestellte Grundniveau der ambienten Innenraumbeleuchtung des Studienaufbaus berücksichtigt. Die 90 % Grenze der Leuchtdichten für die Lichtänderungen Blinklicht und Helligkeitsänderung lag ebenfalls bei mindestens 13,45 cd/m².

4.2.7.2 SUBJEKTIVER FRAGEBOGEN

In der subjektiven Bewertung der Wahrnehmung wurde das Blinklicht am höchsten bewertet. Diese Wertung lässt sich auf die höhere Dringlichkeit des sich drei Mal wiederholenden Lichtes zurückführen. Die Probanden hatten die Wiederholung innerhalb der Lichtänderung Blinklicht mit einer höheren Wahrnehmung interpretiert.

In der Fragestellung nach der Aufmerksamkeitsgewinnung wurde sowohl das Blinklicht als auch die Helligkeitsänderung besser bewertet als das Lauflicht. Die statischen Lichtänderungen sind demnach besser bewertet worden als die dynamische Lichtänderung. Die Wertung der größeren Aufmerksamkeitsgewinnung konnte ebenfalls über die subjektiv höhere Dringlichkeit der beiden statischen Lichtänderungen interpretiert werden. Diese Bewertung im Fragebogen könnte auf den einfachen Versuchsaufbau ohne Simulation und ohne konkreten Anwendungsfall der Lichtfunktion zurückgeführt werden. Eine Interpretation der Lichtfunktion war für die Probanden in diesem einfachen Kontext schwierig.

4.2.8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den Ergebnissen der Untersuchung lässt sich ein Mindestunterschied der Leuchtdichte für die getesteten Lichtänderungen ableiten. Die subjektiven Ergebnisse werden ebenfalls in der Konzeption für die Innenraumlichtfunktion berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Studie lassen schlussfolgern, dass in der weiteren Arbeit die mittlere Ausdehnung genutzt werden sollte. Die Wahrnehmungsschwelle ist hier auf einem Minimum und kann durch eine große Ausdehnung nicht weiter minimiert werden. Die schmale Ausdehnung benötigt dagegen eine höhere Leuchtdichte. Konzeptionell empfiehlt es sich für eine richtungsverortende Anzeige einen möglichst kleinen Bereich auszuleuchten, umso präziser ist die Richtungsinformation. Somit ist die mittlere Ausdehnung der optimale Kompromiss.

Unter den gegebenen Bedingungen wird eine Leuchtdichte für die Lichtänderungen von 13,45 cd/m² und ein Kontrast von $K_w \approx 6:1$ empfohlen. Diese Werte sind auf Grundlage der aktuell vorhandenen und umgesetzten Grundleuchtdichte entstanden, so dass sie als erste Grundlage dienen können. Als Lichtänderungen werden das Blinklicht und das Lauflicht in die weitere Ausgestaltung der Lichtfunktion einbezogen. Die benötigten Wahrnehmungsstufen waren bei Lauflicht signifikant und beim Blinklicht tendenziell geringer als bei der Helligkeitsänderung.

Aufgrund der subjektiven Bewertung der Probanden, sollte das Blinklicht in den zukünftigen Konzepten weiterhin zur starken Aufmerksamkeitsgewinnung, beispielsweise bei Warnungen, genutzt werden.

4.3 STUDIE C: ÜBERPRÜFUNG KONZEPTENTWURF IN ZWEI ANWENDUNGSFÄLLEN

4.3.1 EINORDNUNG UND WISSENSCHAFTLICHER KONTEXT

In der folgenden Studie wurde die Innenraumlichtfunktion für zwei Anwendungsfälle untersucht. Die Betrachtung erfolgte verteilt auf drei simulierte Szenarien. Das Fahrzeug befand sich bei zwei Szenarien im manuellen und einmal im hochautomatischen Fahrmodus. Es wurden jeweils drei verschiedene Lichtänderungen überprüft. In den Konzeptphasen für die Entwicklung der Innenraumlichtfunktion sind schon zu Beginn verschiedene Anwendungsfälle erarbeitet worden. Auf diese Ideensammlung ist im Laufe der Bearbeitungszeit immer wieder zurückgegriffen worden. Die Lichtfunktion beschreibt im manuellen Fahren eine aufmerksamkeitslenkende Fahrerassistenzfunktion. Im automatischen Fahren hingegen ist die Funktion für eine Vertrauensförderung zur Automation vorgesehen.

Die Ergebnisse aus den beiden vorangegangenen Untersuchungen fanden in dieser Anwendungsstudie Berücksichtigung. Als Lichtänderungen wurden verschiedene Varianten von Blinklicht und

Lauflicht überprüft. Die Farbe Weiß der ambienten Innenraumbeleuchtung und deren Grundleuchtdichte ist ebenfalls aus der vorangegangenen Untersuchung übernommen worden. Die Wahrnehmungsschwelle der Lichtänderungen aus der vorherigen Studie B ist als Grundlage herangezogen worden, siehe dazu die Schlussfolgerungen der Studie B in Kapitel 4.2.8.

TRÖSTERER ET AL [98] untersuchten in ihrer Arbeit, inwieweit es möglich ist, die Blickrichtung der Mitfahrer zu beeinflussen. Diese Blickbeeinflussung des Beifahrers ist über eine LED Leiste in der Scheibenwurzel der Frontscheibe im Vergleich zu einer vereinfachten Head-Up-Display Anzeige, betrachtet worden. Die Untersuchung erfolgte im Fahrsimulator. Durch diese Anzeigemöglichkeiten sollte dem Fahrer schnell signalisiert werden, ob der Beifahrer aktuell in der Lage ist ebenfalls Gefahren auf der Fahrbahn wahrzunehmen und den Fahrer so unterstützen kann. Konkret untersuchten die Autoren zwei Anzeigekonzepte. Eine LED Leiste, welche den Blick des Beifahrers auf der horizontalen Ebene darstellt und einen projizierten Punkt, welcher den aktuellen Blickpunkt des Beifahrers direkt in der Simulation darstellte. Die LED Leiste war dabei die umsetzbarere Lösung für den Einsatz im Serienfahrzeug. Die Ergebnisse zeigten, dass die LED Leiste den Fahrer weniger ablenkte. Dagegen besitzt der Blickpunkt eine leichter zu verstehende, räumliche Information. Die LED Leiste hatte das Potential für die Blickanzeige des Beifahrers, die Anzeige war jedoch noch zu ungenau.

Die Forschung an einem Fahrerassistenzsystem, welches ebenfalls mithilfe einer Lichtfunktion unterstützen soll, wurde von LÖCKEN ET

AL. [99] bearbeitet. Mithilfe eines peripheren Lichtdisplays, welches an eine ambiente Innenraumbeleuchtung angelehnt war, wurde die Entfernung zu einem sich nähernden Fahrzeug dargestellt. In der Untersuchung erfolgte ein Vergleich von zwei Darstellungsvarianten der Lichteffekte miteinander. Der erste Lichteffekt veränderte sich in der Geschwindigkeit und war an die Differenzgeschwindigkeit zum annähernden Fahrzeug gekoppelt. Der zweite Effekt änderte sich in der Helligkeit und war an die aktuelle Aufmerksamkeit des Fahrers geknüpft. Durch die Lichteffekte kam es zur Aufmerksamkeitslenkung des Fahrers auf das herankommende Fahrzeug. Das System sollte den Autoren zufolge kein grundlegendes Warnsystem sein, sondern dem Fahrzeugführer bei der richtigen Entscheidungsfindung behilflich sein. Der in der Helligkeit adaptive Lichteffekt hat zu kürzeren Entscheidungszeiten der Probanden für ein Fahrmanöver geführt. In der Untersuchung wurde das hohe Potenzial solcher lichtbasierten Assistenzsysteme aufgezeigt und dabei im ersten Ansatz ein System zwischen komplexen Displays und sehr einfachen Warntönen entwickelt.

MAIER [100] beschreibt eine Lichtfunktion einer LED Lichtleiste, welche gleich dem Bremslicht des vorausfahrenden Fahrzeuges angewandt wurde. Die Lichtfunktion fungierte intuitiv als Bremsaufforderung. Die Untersuchung bestätigte, dass die periphere Wahrnehmung der Bremsaufforderung von den Probanden gut möglich war.

MESCHTSCHERJAKOV ET AL. [101] stellen eine Forschungsarbeit mit neuen Anzeigekonzepten für Geschwindigkeitsanzeigen in Fahrzeugen vor. Genutzt wurde hier eine Lichtleiste, beginnend am Fuß der A-Säule bis etwa zur Mitte der Fahrertür, die am Scheibenrahmen befestigt war. Im Fahrsimulator sind drei verschiedene Lauflichter in grüner Farbe getestet worden. Das Ziel der peripheren Lichteffekte war es, dem Fahrer ein besseres Gefühl der Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeuges zu vermitteln. Der erste Lichteffekt war direkt an die vorgegebene Geschwindigkeit gekoppelt, so lief dauerhaft ein konstantes Lauflicht. Der zweite Lichteffekt war an die Geschwindigkeit des Fahrzeuges gekoppelt. Die Geschwindigkeit des Lauflichtes richtete sich immer nach der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit. Das dritte Design stellte eine adaptive Variante dar. Beim Fahren der vorgeschriebenen Geschwindigkeit stand das Lauflicht still. Das Lauflicht lief vorwärts oder rückwärts, wenn das Fahrzeug zu langsam oder zu schnell war. Als Ergebnis wurde beschrieben, dass das Licht dem Fahrer hilft, die vorgeschriebene Geschwindigkeit einzuhalten, ohne extra mehrfach auf den Tacho zu blicken. Fahrer mit im Fahrzeug montierten Lichtelementen fuhren allgemein langsamer als Fahrer ohne Lichtelemente. Die beste Akzeptanz und die geringste subjektive Anstrengung hatte das adaptive Design. Durch das adaptive Design fuhren die Probanden signifikant langsamer als ohne Lichtelemente, obwohl das eigentliche Ziel des Lichtelementes das Einhalten der Höchstgeschwindigkeit war. Diese Forschungsarbeit verdeutlicht gut, wie stark der Einfluss von Lichtelementen während einer Autobahnfahrt sein kann.

Die aufgezeigten vorangegangenen Forschungsarbeiten legen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von peripheren Lichtelementen im Fahrzeug dar.

Die Erkenntnisse aus der Studie A und Studie B, den zitierten Forschungsarbeiten und den zitierten Anwendungsfällen sind als Grundlagen für die dritte Fahrsimulatorstudie genutzt worden.

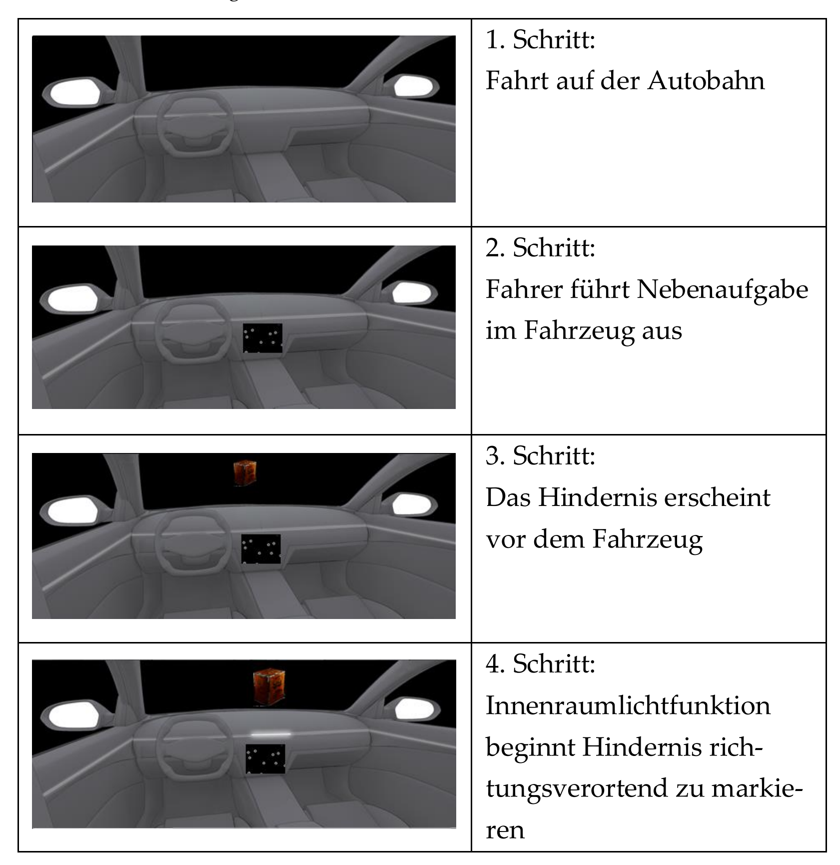
4.3.2 KONZEPTENTWICKLUNG

Die Anwendung der zu untersuchenden Innenraumlichtfunktion teilt sich in das manuelle Fahren und das hochautomatische Fahren auf. Drei verständliche Anwendungsfälle werden in diesem Unterkapitel erläutert.

Die Innenraumlichtfunktion wird im manuellen Fahren für eine frühzeitige Warnung vor statischen und dynamischen Hindernissen genutzt. Das Ziel der Lichtfunktion ist es, den Blick des abgelenkten Fahrers in die Richtung der Gefahr zu lenken, so dass eine Reaktion, beispielsweise Ausweichen oder Bremsen, möglich ist. Die Aufmerksamkeit des Fahrers wird während der Nachtfahrt durch die Lichtreize im peripheren Sichtbereich von der Nebenaufgabe gelöst und in Richtung des Hindernisses gelenkt. Durch das frühzeitige Verlagern der Aufmerksamkeit erfährt der Fahrer in der potentiellen Gefahrensituation eine Unterstützungswirkung von der Innenraumlichtfunktion. Das Einstellen einer Adresse im Navigationssystem

entspricht etwa einer Nebenaufgabe im manuellen Fahren. In der folgenden Tabelle 4.10 ist ein beispielhafter zeitlicher Ablauf einer Innenraumlichtfunktion dargestellt.

Tabelle 4.10: Beispielhafter schrittweiser Ablauf einer Innenraumlichtfunktion in der ambienten Beleuchtung für statische Hindernisse mit der Lichtmodalität Blinklicht



	1. Schritt: Fahrt auf der Autobahn
	2. Schritt: Fahrer führt Nebenaufgabe im Fahrzeug aus
	3. Schritt: Das Hindernis erscheint vor dem Fahrzeug
	4. Schritt: Innenraumlichtfunktion beginnt Hindernis richtungsverortend zu markieren

Die Aufmerksamkeitsverlagerung kann durch verschieden ausgestaltete Lichtänderungen hervorgerufen werden. Die Lichtänderung

Blinklicht wiederholt sich mit einer Frequenz von 1 Hz und ist aus den Vorstudien übernommen worden. Die zweite Lichtänderung ist ein mittig über der Nebenaufgabe startendes Lauflicht. Dieses läuft dreimal in Blickrichtung des Objektes, links der Nebenaufgabe zwischen Lenkrad und Mitteldisplay. Das Lauflicht soll den Blick des abgelenkten Fahrers von der Nebenaufgabe in die richtige Blickrichtung lenken. Ein weiteres Lauflicht mit identischem Startpunkt, einfach durchlaufend und mit einem 2 cm großen Punkt am Ende des Lauflichtes, welcher für 1 s verweilt, ist ebenfalls Bestandteil des Konzeptes. Die zweite Variante des Lauflichtes soll durch das längere Verweilen des Lichtpunktes am Ende die Position des Hindernisses klarer erkennbar machen. Die konzeptionell entworfenen Lichtänderungen entsprechen der mittleren Ausdehnung aus der Vorstudie.

Der Vergleich der drei Lichtänderungen mit ihren unterschiedlichen Salienzen erfolgt in dieser Studie. In Tabelle 4.11 sind alle drei Lichtänderungen für das Szenario Manuell 1 anhand einer Bildsequenz mit jeweils fünf Abbildungen genauer dargestellt.

Tabelle 4.11: Darstellung der drei Lichtänderungen als Bildsequenz (oben nach unten) für Szenario Manuell 1

Lichtänderung 1	Lichtänderung 2	Lichtänderung 3
Blinklicht	Lauflicht aus der Mitte	Lauflicht aus der Mitte mit 1 s Verweilen am Endpunkt
		+1 s Verweilen des Endpunktes des Lauflichtes

Das Ziel der Konzepte von Manuell 1 und Manuell 2 war die Blicklenkung eines abgelenkten manuellen Fahrers zur Aufmerksamkeitslenkung. Im Szenario Manuell 2 wurde in einer Stadtfahrt auf einen Radfahrer hingewiesen. Während eines Abbiegevorgangs an einer

Kreuzung nach rechts, fuhr der Radfahrer auf dem Gehweg weiter geradeaus. Die nähere Beschreibung des Szenarios Manuell 2 und der dazugehörigen Lichtänderungen erfolgt in Kapitel 4.3.5.

Für die weitere Funktionsauslegung ist ein automatisches Fahrszenario ausgearbeitet worden. Das Fahrzeug befand sich in einer hochautomatischen Fahrt auf einer zweispurigen Autobahn. Das Auto fuhr auf der rechten Fahrbahn und näherte sich einem LKW von hinten an. Im Augenblick des geplanten automatischen Spurwechsels näherte sich ein schnelleres Fahrzeug auf der linken Fahrspur von hinten. Durch das überholende Fahrzeug musste das Fahrzeug des Probanden hinter dem LKW stark abbremsen und den eigenen Überholvorgang verzögern. Der automatische Überholvorgang konnte erst später durchgeführt werden. Nach dem Überholvorgang ist das Szenario Automatisch 1 beendet. Eine detailliertere Erläuterung des Szenarios folgt in Kapitel 4.3.5.

Im Szenario Automatisch 1 wurden ebenfalls drei Lichtänderungen konzipiert. Die Lichtänderung 1 stellte ein Lauflicht dar, welches von der Mitte der Fahrertür nach hinten zum Ende der Fahrertür lief. Diese Lichtänderung wurde dreifach wiederholt und entspricht so einer Lichtänderung aus der Studie B. Die Lichtänderung 2 war ebenfalls ein Lauflicht, welches in der Mitte des Armaturenbretts über der Nebenaufgabe begann und einmal nach links hinten zum Ende der Fahrertür lief. Der Blick sollte an Lichtänderung 1 und 2 haften und diesen in Richtung des Verzögerungsgrundes lenken. Die Lichtänderung 3 war ein Lichtpunkt, welcher am vorbeifahrenden Fahrzeug haftete. Dieses Lauflicht begann am hinteren Ende der Fahrertür

und ging bis in den vorderen linken Eckbereich zwischen Fahrertür und linkem Ende des Armaturenbrettes. Die Tabelle 4.12 stellt die Lichtänderungen im automatischen Szenario jeweils als eine Bildsequenz dar.

Tabelle 4.12: Darstellung der drei Lichtänderungen als Bildsequenz (oben nach unten) für Szenario Automatisch 1

Lichtänderung 1	Lichtänderung 2	Lichtänderung 3
Lauflicht beginnt Mitte Fahrertür und läuft nach hinten bis Ende Fahrertür	Lauflicht beginnt Mitte Armaturen-brett und läuft nach hinten bis Ende Fahrertür	Lauflicht beginnt hinten am Ende der Fahrertür und läuft nach vorne bis zum Anfang der Fahrer-tür

Als gegeben für die Umsetzung der Innenraumlichtfunktion wurde eine Fahrerbeobachtung angenommen, welche in der Lage ist zu klassifizieren, falls ein Hindernis nicht wahrgenommen wurde. Die Lichtfunktion soll in der späteren Serienumsetzung nur aktiviert werden, wenn das Hindernis vom Fahrer nicht wahrgenommen wurde. Dadurch werden falsche Blickzuwendungen auf das Lichtband effektiv reduziert.

Für das Aktivieren der Funktion ist eine TTC[11] von 4 s genutzt worden, dies entspricht bei einer Geschwindigkeit von 130 km/h einer Entfernung von 144 m. UTESCH [104] zeigte in seiner Untersuchung, dass eine TTC Zeit von 4 s fünffach besser als eine TTC Zeit von 1 s vor dem Ereignis ist. Dabei beinhalteten seine Versuche ebenfalls verschiedene Lichtwarnungen im Interieur. Weiterhin schlussfolgert er, dass eine TTC Zeit in seinem Studienaufbau mindestens größer 2,5 s sein solle. REINISCH [105] hat in seiner Arbeit beschrieben, dass Notbremssysteme eine optische Vorwarnzeit von 3,4 s oder eine optisch akustische Vorwarnzeit von 2,1 s haben, wobei sich die einzelnen Hersteller hier teilweise unterscheiden. VAN DER HORST [106] beschrieb in seiner Arbeit ebenfalls eine TTC Zeit von 4 s für das Aktivieren von Kollisionsvermeidungssystemen als optimales Maß. Eine frühzeitige Vorwarnung mit 4 s aus dieser Konzeptarbeit passen zu diesen hier angegebenen TTC Zeiten.

[11] TTC (Time to Collision): Zeitspanne für eine potentielle Kollision, die bei gleichbleibender Geschwindigkeit zweier folgender Fahrzeuge eintreten würde [102, 103]

Die Ausgestaltung der Lichtfunktion in Abhängigkeit zur Außenwelt verlangte nach einer Berechnung der Position des Lichteffektes auf der LED Leiste im Interieur. Die Lichtfunktion sollte im direkten Blickfeld angezeigt werden. Für die spätere Umsetzung wird angenommen, dass die Position des Objektes in Relation zum Fahrzeug durch die Sensorik der Assistenzsysteme stetig bekannt ist. Durch die Winkelabhängigkeiten konnte die relative Position des Lichteffektes auf der LED Leiste berechnet werden. In der Umsetzung für diese Studie wurde der Positionswert für den Anwendungsfall im Simulator gemittelt und nur eine Position des Lichtes angenommen.

4.3.3 TECHNISCHER AUFBAU

Der technische Aufbau für die Studie C wurde in einen Fahrsimulator integriert. Für die Durchführung wurde eine Sitzkiste genutzt, welche den vorderen Teil eines Fahrzeugs nachstellt. Die Sitzkiste ist mit den aus Studie A und B bekannten LED Leisten (144 ansteuerbaren RGB LEDs pro Meter) erweitert worden. Die Details zu den LED Leisten sind in Kapitel 4.1.3 beschrieben. Die Lichtleisten sind im oberen Bereich des Armaturenbrettes montiert worden. Hierdurch ist ein durchgängiges Lichtband im Aufbau entstanden, siehe dazu Abbildung 4.20. Mithilfe eines *item* Profilaufbaus wurden der vorhandenen Sitzkiste Türen und Außenspiegel hinzugefügt. In der Mitte der Sitzkiste ist ein 12“ Touchdisplay integriert worden. Auf diesem Bildschirm erfolgte die Bearbeitung der Nebenaufgabe und der Fragebögen. Eine zweite Bedieneinheit in Form eines Touchbildschir-

mes im unteren Bereich ist für diesen Versuch nicht verwendet worden. Die Darstellung des Kombiinstrumentes erfolgte auf einem 12“ Display. Als Inhalt sind zwei Rundinstrumente mit aktueller Drehzahl und Geschwindigkeit dargestellt worden. Die Pedalerie der Sitzkiste ist für das realitätsnahe Fahren des Fahrzeuges im Simulator ebenfalls an die Simulation angebunden worden.



Abbildung 4.20: Sitzkiste und erweiterter Versuchsaufbau für Studie C, Anordnung der LED Leisten in schwarz und des Trackers für die Eye-Tracking Brille im Fahrzeugcockpit

Während des Versuchs erfolgte eine Aufzeichnung der Blickbewegung mithilfe einer Eye-Tracking Brille. Die Brille der Firma *SMI* zeichnete sowohl die Fahrszenen als auch zwei Pupillenvideos auf. Der Tracker der Firma *ART D-Track* zeichnete die Position und Ausrichtung der Brille im Raum auf. Das zentrale Logging Programm

ADTF speicherte gleichzeitig die Blickkoordinaten synchron in die Loggingdateien der gesamten Fahrsimulation. Zusätzlich erfolgte eine separate Aufzeichnung eines Videos aus der Blickrichtung des Probanden. In diesem Video wurde durch die Software SMI EVG Software der aktuelle Blickpunkt eingezeichnet. Die für das Eye-Tracking System erforderliche Kalibrierung ist ebenfalls mit dieser Software bei jedem Probanden durchgeführt worden.

Für die vom Fahrsimulator getriggerte Ansteuerung der RGB LEDs ist ein 8-bit Mikrocontroller programmiert worden. Als Kommunikationskanal zum Simulator und zur späteren Fortsetzung direkt im Fahrzeug wurde die CAN Schnittstelle des *ATMEL AT90CAN128* Mikrocontroller genutzt. Die Programmierung der Lichteffekte erfolgte auf der Grundlage der vorangegangenen Studien in der mitgelieferten *ATMEL* Software. Zur Anbindung der CAN Schnittstelle in die ADTF Steuerungs- und Loggingsoftware wurde ein ADTF-Filter programmiert.

4.3.4 FORSCHUNGSFRAGEN

Die Forschungsfragen an die Untersuchung ergeben sich aus den Ergebnissen der vorangegangenen Studien, welche sich intensiv mit den verschiedenen Parametern der Ausgestaltung der Lichteffekte beschäftigten. Durch die erfolgte Eingrenzung auf möglichst effektive Lichtänderungen ist es möglich, die Frage nach der Anwendung der Innenraumlichtfunktion näher zu untersuchen.

Insbesondere werden folgende Forschungsfragen an diese Untersuchung gestellt:

- Wie unterscheidet sich die Wahrnehmung der aufmerksamkeitslenkenden Innenraumlichtfunktion im manuellen und automatischen Fahrmodus?
- Wird die Innenraumlichtfunktion vom Fahrer in den abgefragten Situationen verstanden?
- Wie wird die Innenraumlichtfunktion subjektiv vom Fahrer bewertet?

In der Untersuchung soll folgender Nullhypothese nachgegangen werden:

- Die Lichtänderungen haben keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten.

In der nachfolgend beschriebenen Probandenstudie ist daher ein Vergleich zwischen dem manuellen und dem automatischen Fahrmodus durchgeführt worden. Weitere Fragestellungen wurden ebenfalls beantwortet und lauten:

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Nebenaufgabe und nicht wahrgenommener Lichtänderung?
- Gibt es altersabhängige Effekte bei der Wahrnehmung der Lichtänderung?
- Wie wirkt sich die Umgebungsleuchtdichte des Szenarios auf die Wahrnehmung der Lichtänderungen aus?

4.3.5 METHODE

Zur ersten Abschätzung in der Anwendung der Lichtänderungen ist die folgende Untersuchung im statischen Fahrsimulator durchgeführt worden. Im Fahrsimulator lassen sich im Gegensatz zur Realfahrt leichter standardisierte Fahrszenarien nachbauen und schneller mehrere, verschiedene Fahrszenarien abprüfen. Der Fahrsimulator befand sich in einem 7,3 m mal 6,8 m großen, schwarz gestrichenen Raum, siehe Abbildung 4.21. Der Arbeitsplatz des Versuchsleiters war außerhalb in einem durch eine Scheibe getrennten Raum, siehe Abbildung 4.22. Dieser war zusätzlich mit schwarzen Vorhängen abgedunkelt. Durch die Verdunklung trat kein weiteres Kunst- oder Tageslicht in die Versuchsumgebung ein, so dass eine stabile Versuchsumgebung gegeben war. Der Versuch war eine simulierte Nachtfahrt. Das simulierte Versuchsfahrzeug fuhr mit Abblendlicht durch alle Szenarien. Der Fahrsimulator war mit drei Frontsichten, einer rechten 90° Seitensicht und drei Rücksichten (Innenspiegel und beide Außenspiegel) ausgestattet. Die vorderen vier Sichten waren mit Projektoren und Leinwand umgesetzt. Die hinteren drei Sichten realisierte der Aufbau mit LCD Monitoren.



Abbildung 4.21: Aufbau Simulator für Studie C mit 3 Front- und 2 Seitensichten a 3 m Leinwandbreite, Abstand Auge des Fahrers zur Leinwand beträgt 3,5 m



Abbildung 4.22: Separater Raum für die Versuchsleitung durch eine Scheibe vom Versuchsraum getrennt

Für die realistische Fahrsimulation wurde die Software *VTD* (Virtual Test Drive) der Firma *VIRES* genutzt.

Sowohl während der manuellen als auch während der automatischen Fahrt wurde der Fahrzeugführer durch eine Nebenaufgabe abgelenkt. Für die Nebentätigkeit ist die aus Studie A bekannte Variante von SuRT genutzt worden.

Abweichend dazu ist für diese Studie ein spielähnlicher Modus programmiert worden. Das Ziel der Probanden in diesem Modus war es, den größeren Kreis zu finden und auf dem Touchbildschirm anzutippen. Durch die Anpassung war der Schwierigkeitsgrad über die Größe des Zielreizes für die verschiedenen Szenarios konfigurierbar. Der Zielreiz war in der manuellen Fahrt durch einen größeren Kreis als in der automatischen Fahrt gekennzeichnet. Nachdem die Probanden den größeren Kreis angetippt hatten, ist auf dem Bildschirm sofort ein neues Zufallsbild dargestellt worden. Der Spielcharakter hat sich durch die Punktzahl und die Sekundenanzeige verstärkt. Jede

richtige Berührung auf dem Bildschirm ergab plus 10 Punkte und jede falsche ergab minus 10 Punkte auf den Punktestand. Die Probanden wurden instruiert, die Nebenaufgabe so gut wie möglich während der gesamten Fahrt zu lösen. In der manuellen Fahrt ist darauf hingewiesen worden, dass das Fahrzeug jederzeit sicher geführt werden muss. Im System der Nebenaufgabe sind folgende Parameter aufgezeichnet worden: Probanden ID, aktuelle Zeit des Tippens, Systemzeit, Zeit seit Start, Zeit seit dem letzten Berühren, Anzahl der Szenarios des Probanden, Zielreiz richtig getippt oder nicht, Position des Zielreizes, aktuelle Punktzahl, Zeit des Durchlaufes, Anzahl der richtigen und falschen Berührungen. Die Nebenaufgabe kam der Bedienung eines Navigationssystems oder Radiosystems nahe. [73, 107] Eine ähnliche Variante der Nebenaufgabe ist in einem Vortrag des DLR [108] vorgestellt und evaluiert worden.

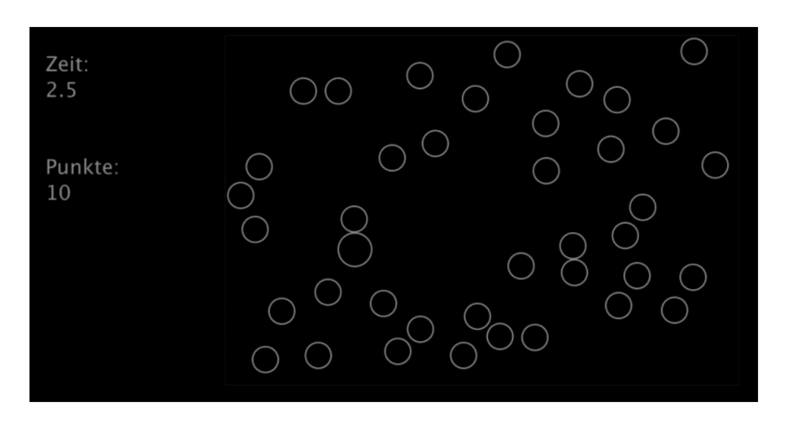


Abbildung 4.23: Nebenaufgabe der Studie C, spielerische Variante von SuRT mit Zeitangabe und Punktestand, hier im Modus für manuelles Fahren

Die Stichprobe bestand aus 58 Versuchspersonen, welche aus dem Probandenpool der Volkswagen AG stammten. 47 Probanden besaßen keine Sehhilfe und 11 Probanden trugen Kontaktlinsen. Am Versuch nahmen 23 Frauen und 35 Männer teil. Die Alterseinteilung der Probanden erfolgte in unter beziehungsweise gleich 45 jährige und über 45 jährige Probanden. Das Alter der Probanden erstreckte sich von 21 bis 58 Jahren, der Mittelwert lag bei 37 Jahren. Die weiteren Daten zur Fahrpraxis der Versuchsteilnehmer sind in Tabelle 4.13 zusammengefasst. [74 bis 80]

Tabelle 4.13: Soziodemografische Daten zur Stichprobe der Studie C

Fragestellung	Prozentuale Antwort der Stichprobe				
Jährliche Fahrleistung	36,2 % unter 15.000 km	50 % unter 30.000 km	13,8 % unter 45.000 km		
Anteile der Nacht-fahrten	25,9 % unter 20 %	63,8 % unter 40 %	8,6 % unter 60 %	1,7 % über 80 %	
Anteile der Auto-bahnfahrten	29,3 % unter 20 %	31 % unter 40 %	27,6 % unter 60 %	12,1 % unter 80 %	
Anstrengung bei Nachtfahrten	7 % sehr wenig	40 % wenig	38 % mittel	12 % stark	3 % sehr stark
Erfahrung mit Fah-rerassistenzsystemen	8 % sehr ge-ring	21 % ge-ring	45 % mittel	24 % hoch	2 % sehr hoch

Die Untersuchung ist im Mixed-Design geplant und durchgeführt worden. Jeder Proband erlebte jede Versuchsbedingung, jedes Szenario und jede Lichtänderung (Within-subject-Design). Die Lichtänderungen variierten in jedem Szenario. Varianten der einzelnen Szenarios sind für die Randomisierung genutzt worden und unterschieden sich im Anfahrtsweg an das eigentliche Szenario. Die Randomisierung erfolgte nach dem lateinischen Quadrat. [69]

Zur Kontrolle wurde eine Baseline ohne Lichtänderung genutzt. In Tabelle 4.14 ist das Versuchsdesign aufgezeigt.

Tabelle 4.14: Versuchsdesign Studie C

		Szenario (3 Stufen, within)											
		Manuell 1				Manuell 2				Automatisch			
		Variante (4 Stufen, between)											
		A	B	C	Baseline	A	B	C	Baseline	A	B	C	Baseline
Lichtänderung (3 Stufen, within)	1												
	2												
	3												

Nach jeder Simulatorfahrt sind Kurzfragebögen zur Wahrnehmung ausgefüllt worden. Diese Fragebögen umfassen folgende Aussagen aus Tabelle 4.15 mit jeweils einer 15 stufigen HELLER [81] Skala. Die Darstellung erfolgte auf dem Display der Nebenaufgabe. Abbildung 4.24 zeigt die Darstellung des Kurzfragebogens auf dem Touchbildschirm der Sitzkiste und die zugehörige Skaleneinteilung.

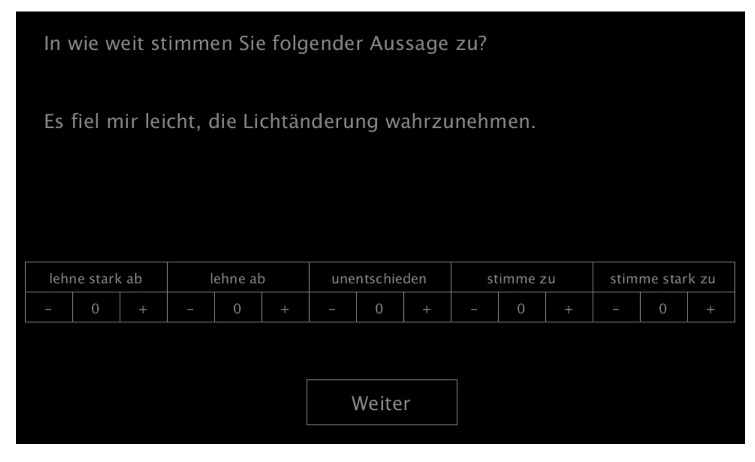


Abbildung 4.24: Darstellung des Kurzfragebogens der Studie C auf dem Touchbildschirm der Nebenaufgabe mit zugehöriger Skaleneinteilung

Die Art des Kurzfragebogens basiert auf den ersten beiden Studien, siehe Kapitel 4.1.5 und 4.2.4. Der Proband blätterte mit einem „Weiter“ Button durch die sieben Fragen und wählte selbst durch Berühren der Skala seine Antwort aus.

Tabelle 4.15: Fragen und Aussagen mit der jeweiligen Skaleneinteilung des Kurzfragebogens aus Studie C

In wie weit stimmen Sie folgender Aussage zu? Es fiel mir leicht, die Lichtänderung wahrzunehmen.
Skala: lehne stark ab - stimme stark zu
In wie weit stimmen Sie folgender Aussage zu? Die Dynamik der Lichtänderung eignet sich gut dafür, meine Aufmerksamkeit zu gewinnen.
Skala: lehne stark ab - stimme stark zu

In wie weit stimmen Sie folgender Aussage zu? Die Lichtänderung konnte meine Aufmerksamkeit schnell gewinnen.
Skala: lehne stark ab - stimme stark zu
Haben Sie die Lichtänderung als eher angenehm oder störend empfunden?
Skala: sehr störend – sehr angenehm
In wie weit hat Sie die Lichtänderung unterstützt beziehungsweise daran gehindert Ihre Aufmerksamkeit auf die Fahrsituation zu lenken?
Skala: sehr abgelenkt – sehr unterstützt
In wie weit stimmen Sie folgender Aussage zu? Die Lichtänderung konnte meine Aufmerksamkeit schnell auf die Situation im Fahrgeschehen lenken.
Skala: lehne stark ab - stimme stark zu
In wie weit stimmen Sie folgender Aussage zu? Ich habe die Lichtänderung insgesamt als hilfreich empfunden.
Skala: lehne stark ab - stimme stark zu

Nach jedem Block (manuell oder automatisch) wurde ein evaluierter Fragebogen zur Beanspruchung ausgefüllt. Zur Trennung der Auswertung zwischen manuellem und automatischem Fahrblock ist der Fragebogen zur Belastungsmessung lediglich nach dem jeweiligen Block ausgefüllt worden. Abbildung 4.25 zeigt die erste Frage des NASA TLX Fragebogens. Weitere Fragen wurden nach der körperlichen Anstrengung, nach der zeitlichen Herausforderung, nach der Leistung, nach der Anstrengung und nach der Frustration gestellt.

Hierfür erfolgte die Nutzung des ersten Teils des komplett validierten Fragebogens NASA TLX mit sechs Skalen zur Belastungsmessung. [109, 110]

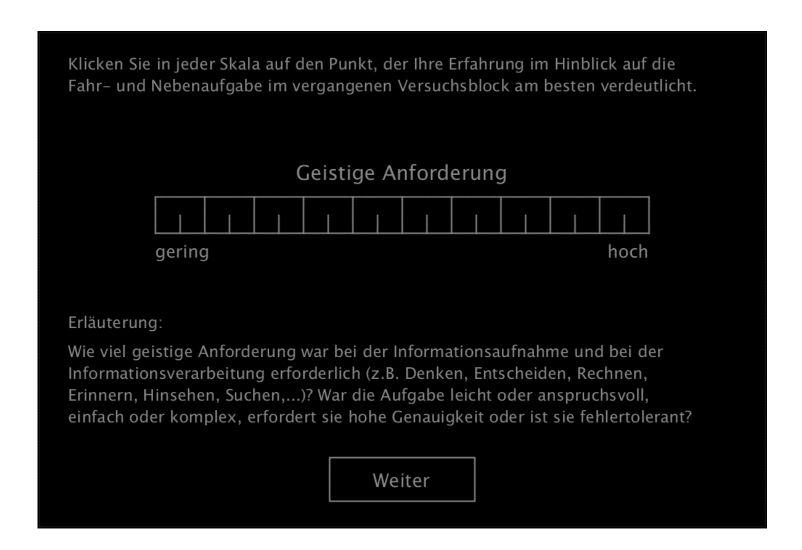


Abbildung 4.25: NASA TLX Fragebogen, Frage nach der geistigen Anforderung

Die zusätzliche subjektive Bewertung zwischen den beiden Lichtänderungen Blinklicht und Lauflicht ist nach den Simulatorfahrten mit einem weiteren Fragebogen abgefragt worden. Alle im Versuch verwendeten Lichtänderungen, gruppiert nach Blinklicht und Lauflicht, wurden randomisiert präsentiert und mussten vom Probanden auf einem dem semantischen Differential ähnlichen Fragebogen (AttrakDiff) bewertet werden. AttrakDiff ist ein validierter Fragebogen, welcher in diesem Versuch mit eigener Auswertung genutzt wurde. [111 bis 114] Der Proband beschrieb nach dem Sichten eines der Lichtänderungen mithilfe der Gegenwortpaare seine subjektive Bewertung

und wiederholte dies für die zweite Lichtmodalität. Die Darstellung des Fragebogens erfolgte auf einem Tablet. In Anhang B.3.1 zeigt Abbildung 5.2 den Aufbau des AttrakDiff Fragebogens. Die 28 bipolaren siebenstufigen Items wurden in vier Kategorien: hedonische Qualität – Simulation (HQ-S), hedonische Qualität – Identität (HQ-I), Attraktivität (ATT) und pragmatische Qualität (PQ) eingeteilt. Die pragmatische Qualität beschreibt die Funktionalität und Usability, die hedonische Qualität beschreibt die Stimulation und die Identität des Nutzers mit dem Produkt. Siehe für weitere Informationen zum AttrakDiff Fragebogen HASSENZAHL, BURMESTER UND KOLLER. [111 bis 113]

Eine allgemeine subjektive Stimmung zur Funktionalisierung der ambienten Beleuchtung wurde mit einem teilstandardisierten Interview am Ende des Versuchs aufgenommen. Die Reihenfolge der Fragen blieb bei jedem Probanden identisch und es erfolgte eine Aufzeichnung des Interviews mit einem Audiorekorder. Die Fragen teilten sich in vier Kategorien: Bisherige Erfahrung mit ambienter Beleuchtung, Untersuchungspunkt der manuellen Szenarien, Untersuchungspunkt der automatischen Fahrt und allgemeine Fragen. Für die genauen Fragestellungen siehe Anhang B.3.1.

Szenario Manuell 1 war ein manuell gefahrenes Szenario auf der Autobahn. Der Proband fuhr auf der nächtlichen Autobahn mit Verkehr auf beiden Fahrbahnrichtungen. Nach unterschiedlichen Zeiten tauchte auf der rechten Fahrspur eine unbeleuchtete Kiste auf. Durch einfaches Ausweichen auf die linke Fahrspur konnte die Kiste umfahren werden. Die Lichtfunktion stellte in diesem Szenario eine

Warnung auf ein statisches Hindernis dar. Durch die Lichtfunktion wurde der Blick des Fahrers von der Nebenaufgabe auf das statische Hindernis gelenkt. Die Szene endete nach dem Passieren der Kiste automatisch.

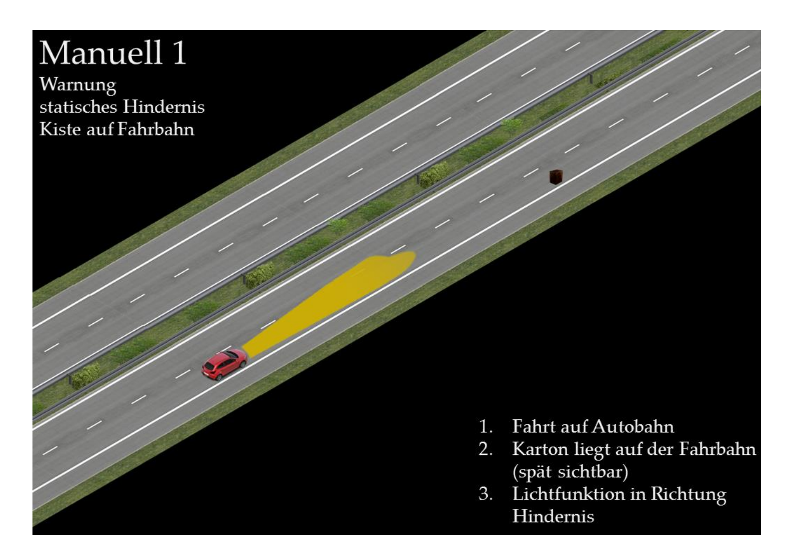


Abbildung 4.26: Szenario Manuell 1 der Studie C, Proband befand sich in der Simulation im roten Fahrzeug

Folgende drei Lichtänderungen sind für den Hinweis auf die Kiste in der ambienten Innenraumbeleuchtung genutzt worden:

- Blinklicht mit mittlerer Ausdehnung (30 cm) in Richtung des Objektes dreifach wiederholt (Mitte des Blinklichtes beschreibt die Position der Kiste)

- Lauflicht mit mittlerer Ausdehnung (30 cm) in Richtung des Objektes mit dreifacher Wiederholung (Ende des Lauflichtes beschreibt die Position der Kiste)
- Lauflicht mit mittlerer Ausdehnung (30 cm) in Richtung des Objektes mit Endpunkt der 1 s verweilt (Ende des Lauflichtes beschreibt die Position der Kiste)

Szenario Manuell 2 war eine nächtliche Stadtszene mit ortsfester Beleuchtung und eine manuell im Fahrsimulator gefahrene Szene. In dieser Situation wurde mithilfe der Lichtfunktion eine Warnung vor anderen Verkehrsteilnehmern umgesetzt. Die Versuchsperson fuhr in der Stadt auf verschiedenen Wegen an eine Kreuzung heran. Für die Navigation wurden in die Simulationswelt projizierte Pfeile vor Kreuzungen oder Abbiegungen genutzt. Beim direkten Abbiegevorgang an einer Kreuzung befand sich ein Fahrradfahrer im toten Winkel des Fahrzeuges. Der Fahrradfahrer war vor dem Abbiegen nicht zu sehen und kam kurz vor der Kreuzung aus einer Seitenstraße gefahren. Vor dem Abbiegevorgang erschien die Lichtfunktion und lenkte den Blick des Fahrers richtungsweisend auf den Fahrradfahrer. Um nicht mit dem Radfahrer zu kollidieren musste das Auto abgebremst werden. Die Szene endete kurz nach dem Abbiegevorgang mit einer auf die Straße projizierten Nachricht.

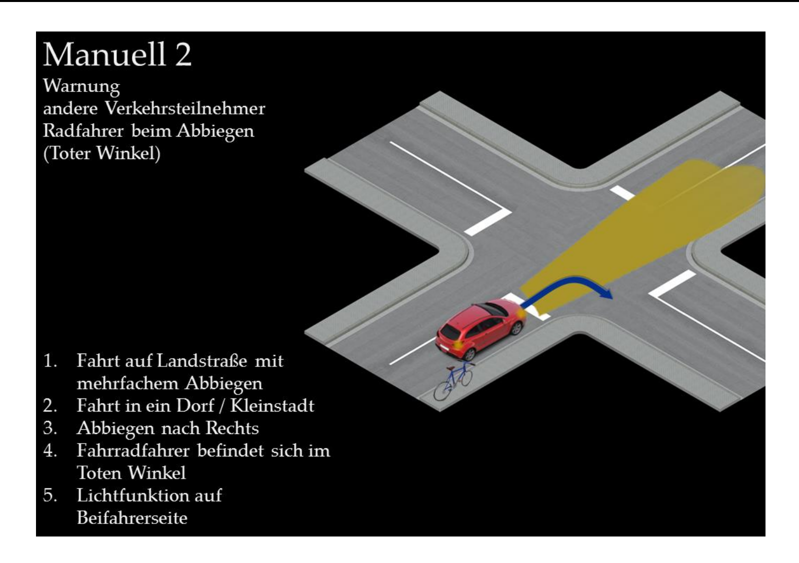


Abbildung 4.27: Szenario Manuell 2 der Studie C, Proband befand sich in der Simulation im roten Fahrzeug

Folgende Lichtänderungen wiesen auf den Fahrradfahrer hin:

- Blinklicht mit großer Ausdehnung (ganze Tür) auf der Beifahrertür mit dreifacher Wiederholung
- Lauflicht von vorne nach hinten in der gesamten Beifahrertür mit dreifacher Wiederholung
- Lauflicht startend vom Display der Nebenaufgabe zum Ende der Beifahrertür

Für die hochautomatische Fahrt ist das Szenario Automatisch 1 erstellt worden. Das Ziel der Lichtfunktion war die Vertrauensförderung zur automatischen Fahrfunktion und das Erklären von

automatischen Fahrmanövern. Der Proband fuhr hochautomatisch auf einer nächtlichen, wenig befahrenen Autobahn. Nach unterschiedlicher Dauer näherte er sich einem langsamen Verkehrsteilnehmer (LKW) auf der rechten Spur von hinten an. Im Moment des Ausscherens des Probandenfahrzeuges wurde der Proband von einem schnelleren Fahrzeug auf der linken Spur überholt. Der Proband ist auf das überholende Fahrzeug mithilfe der Lichtfunktion aufmerksam gemacht worden. Nach dem Passieren des schnelleren Fahrzeuges überholte das hochautomatische Fahrzeug des Probanden das langsamere Fahrzeug und die Szene endete.

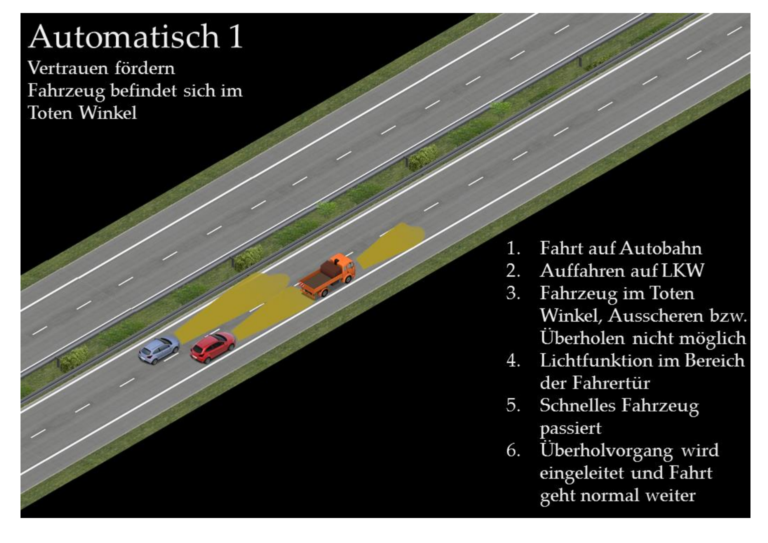


Abbildung 4.28: Szenario Automatisch 1 der Studie C, Proband befand sich in der Simulation im roten Fahrzeug

Im automatischen Szenario sind drei verschiedene Lauflichter verwendet worden:

- Lauflicht hinten an der Fahrertür bis nach vorne im Bereich der A-Säule am Armaturenbrett, haftete optisch am überholenden Fahrzeug und stellte so den umgebenden Verkehr dar
- Lauflicht von vorne nach hinten, welches sich im hinteren Bereich der Fahrertür dreifach wiederholte und die mittlere Ausdehnung (30cm) besaß
- Lauflicht startend vom Display der Nebenaufgabe zum Ende der Fahrertür

Für eine genaue Beschreibung der Lichtänderungen aus Studie C siehe das Konzeptkapitel Kapitel 4.3.2.

4.3.6 DURCHFÜHRUNG

Im Versuch sind 58 Probanden getestet worden und die Dauer betrug für jede Versuchsperson ca. 110 Minuten. Die Studie wurde an 16 Durchführungstagen organisiert, an denen jeden Tag vier Probanden teilgenommen haben. Für die Teilnahme mussten die Probanden zu Beginn eine Einverständniserklärung zur Durchführung von Video- und Tonaufnahmen unterschreiben. Mithilfe eines Informationsblattes ist auf die Risiken eines Fahrsimulatorversuches hingewiesen worden, außerdem war es für die Probanden jederzeit möglich, den Versuch abzubrechen. Die Teilnehmer setzten sich im abgedunkelten

Simulatorraum in die Sitzkiste und stellten sich den Sitz passend ihrer Größe ein. Die Beleuchtungssituation war einem Nachtniveau nachempfunden und es wurde eine zehnminütige Dunkeladaptationsphase durchlaufen, während der sie auf einem abgedunkelten Tablet einen demografischen Fragebogen und Fragen zur Fahrpraxis ausfüllten. Die Instruktion erfolgte über eine Gegensprechanlage aus dem Versuchsnebenraum durch den Versuchsleiter. Es erfolgte eine Instruktion in die Nebenaufgabe, eine kurze manuelle Testfahrt und eine Instruktion zur verbauten ambienten Innenraumbeleuchtung. Die Instruktion beinhaltete eine Erklärung der möglichen Lichtänderungen und dass diese auf bestimmte Vorkommnisse in den Situationen hinweisen. Im Versuch sollte nicht speziell auf die Innenraumbeleuchtung geachtet werden. Als Richtgeschwindigkeit auf der Autobahn wurde 130 km/h instruiert und es galten immer alle Regeln der Straßenverkehrsordnung. Eingeblendete Richtungspfeile in der manuellen Fahrt navigierten die Fahrer durch die Szene. Vor der ersten Fahrt erfolgte die Einweisung und Kalibrierung der Eye-Tracking Brille.

Die Teilnehmer erlebten im Anschluss alle Versuchsfahrten in randomisierter Reihenfolge. Nach jeder Fahrt wurde der Proband gefragt, ob er eine Lichtänderung wahrgenommen hat. War dies der Fall, so hat er auf dem mittleren Display die Kurzfragebögen zur Bearbeitung dargestellt bekommen. Wurde keine Lichtänderung wahrgenommen, wurde sofort zur nächsten Fahrt gesprungen. Nach jedem der zwei Blöcke, entweder automatisches oder manuelles Fahren, hat der

Proband den NASA-TLX Fragebogen zur Beantwortung im Zentraldisplay zur Darstellung bekommen. Die Punktzahl der Nebenaufgabe ist nach jedem Durchlauf zurückgesetzt worden.

Nach der Durchführung des automatischen und manuellen Blockes gab der Versuchsleiter den Probanden das abgedunkelte Tablet für die Bearbeitung des subjektiven Fragebogens AttrakDiff. Die ersten 25 Probanden bekamen zuerst alle verwendeten Varianten des Lauflichtes und beim zweiten Ausfüllen des Fragebogens die Blinklichter gezeigt. Den restlichen Probanden wurden die Lichtmodalitäten in umgekehrter Reihenfolge gezeigt. Abschließend begleitete der Versuchsleiter die Probanden zum Vorbereitungsraum, in dem das Interview stattfand. Im Rahmen des Interviews erfolgte eine Aufklärung über die Ziele der Studie.

Der detaillierte Versuchsleiterbogen und der Versuchsablaufplan sind in Anhang B.3.2 dargestellt.

4.3.7 ANALYSE DER DATEN

Zu Beginn der Auswertung ist eine Bereinigung der Messdaten vorgenommen worden. Diese Aufbereitung erfolgte mithilfe eines eigens dafür programmierten Hilfsprogramms. Dieses Programm war in der Lage, aus den Logging Files des Simulators die passenden Stellen der Ereignisse zu extrahieren, woraus im Anschluss eine Berechnung der Reaktionszeiten für das Szenario Manuell 1 erfolgte. Zur Ausgabe erstellte das Tool eine kombinierte Exceltabelle mit allen

aufgenommenen Daten und berechneten Zeiten. Die Datenaufbereitung erfolgte weiter in Excel und für die statistische Auswertung wurden SPSS und R genutzt.

Alle unabhängigen Variablen (UV) aus dem Versuch werden in der folgenden Tabelle 4.16 zusammengefasst und die abhängigen Variablen (AV) sind in Tabelle 4.17 beschrieben.

Tabelle 4.16: Unabhängige Variablen (UV) aus Studie C

Name der UV	Ausprägung	Niveau
Lichtänderung	L1, L2, L3, BL	kategorial
Strecke (Variante)	A, B, C, D	kategorial
Alter	21 - 58	stetig
Geschlecht	w, m	kategorial
Anzahl gefahrene Szenarien gesamt	1 - 12	stetig
Anzahl gefahrene Szenarien gleicher Typ	1., 2., 3., oder 4.	kategorial
SuRT Aktionen gesamt		stetig
SuRT Aktionen 5 s vor bis 2 s nach Lichtänderung		stetig

Tabelle 4.17: Abhängige Variablen (AV) aus Studie C

Name der AV	Ausprägung	Niveau
Lichtänderung gesehen?	ja, nein	dichotom
Fragebogen (Frage F1-F7)	1 - 15	stetig
Reaktionszeiten im Modus M1	200 ms – 5000 ms	stetig

Die deskriptive Statistik zeigt, dass über alle Lichtänderungen (ohne Baselines) 62,68 % der Lichtänderungen wahrgenommen wurden. Die Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30 zeigen die Aufteilung über die drei Szenarien.

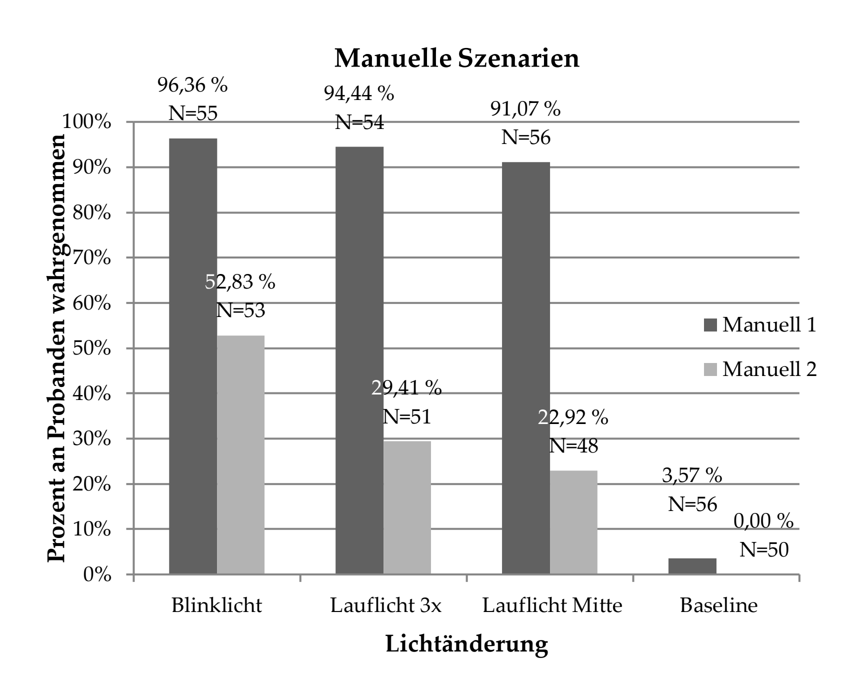


Abbildung 4.29: Deskriptive Statistik zu gesehenen Lichtänderungen der manuellen Szenarien Studie C, Baseline entspricht keiner dargestellten Lichtänderung

Im Szenario Manuell 1 wurden alle Lichtänderungen von über 90% der Probanden gesehen. Im Szenario Manuell 2, der Stadtszene, ist nur das Blinklicht von 52,83 % der Probanden wahrgenommen wor-

den. Einige Teilnehmer haben den Versuch aufgrund Simulatorübelkeit abgebrochen, so dass sich die Anzahl der Probanden zwischen den Szenarien unterscheidet.

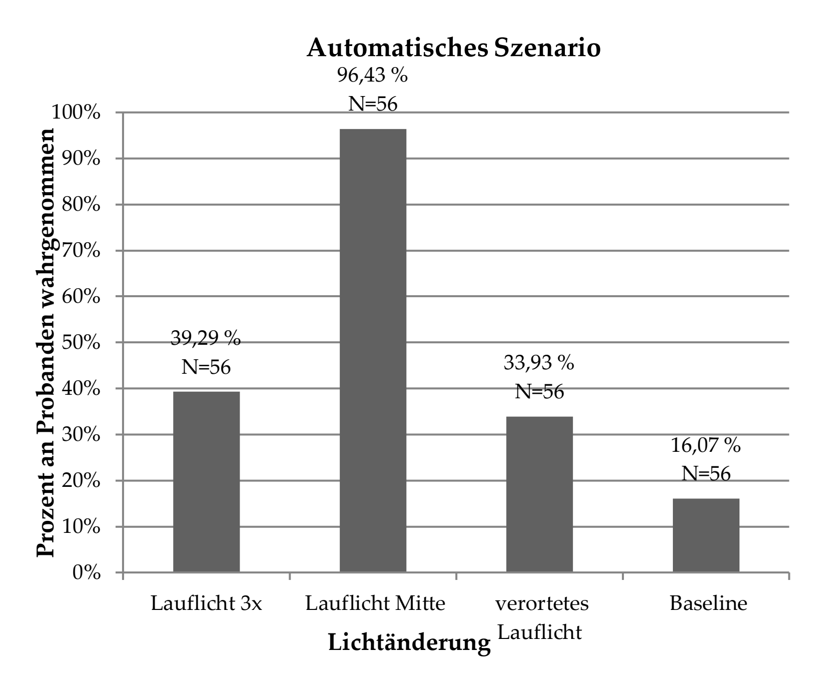


Abbildung 4.30: Deskriptive Statistik zu gesehenen Lichtänderungen des automatischen Szenarios Studie C, Baseline entspricht keiner dargestellten Lichtänderung

Das Lauflicht aus der Mitte beginnend am Display wurde im automatischen Szenario von über 90% der Probanden wahrgenommen.

Zur Kontrolle der Unterschiede zwischen den vier Varianten eines Szenarios, ist ein Cochran's Q-Test[12] mit der Kontrollvariablen Strecke für die gesehenen Lichtänderungen in den Strecken A, B, C und D für die beiden manuellen und das automatische Szenario durchgeführt worden. Für Manuell 1 zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Strecken, χ^2 (3) = .21, (p = .975). Im Szenario Manuell 2 zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den Strecken, χ^2 (3) = 1.2, p = .753. Auch im automatischen Szenario zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Streckenvarianten, χ^2 (3) = .88, p = .684. Die Streckenvarianten mussten somit in der Auswertung nicht unterschieden werden.

Das erste Testverfahren erlaubte nur die Überprüfung mit einer Kontrollvariablen. Zur weiteren Untersuchung der abhängigen Variablen „Lichtänderung gesehen" erfolgte die Berechnung einer binomialen logistischen Regression[13]. Eingeschlossen wurden außer den Baselines alle Durchgänge, in denen ein Proband alle drei Lichtänderungen innerhalb eines Szenarios gültig durchfahren hat. Unabhängige Variablen waren: Geschlecht, Alter, gefahrene Szenarios, Art der Strecke, Lichtänderungen, Anzahl an Szenarien die im jeweiligen Modus gefahren wurden, SuRT Aktionen in den 5 s vor und bis 2 s nach der

[12] Cochran's Q-Test: Nichtparametrisches Testverfahren zur Überprüfung abhängiger Stichproben auf deren signifikante Unterschiede.

[13] binomiale logistische Regression: Statistisches Analyseverfahren zum Modellieren von Beziehungen abhängiger und unabhängiger Variablen zueinander mithilfe einer Regressionsgleichung. Die Gleichung beschreibt die Beziehung der Merkmale zueinander. [69]

Lichtänderung, SuRT Punkte im Durchgang und SuRT Aktionen insgesamt im Durchgang. Die abhängige Variable war hier die gesehene oder nicht gesehene Lichtänderung. Für das Szenario Manuell 1 war ein signifikanter Effekt für die gefahrenen Szenarios zu erkennen, $Z = 2.913$, $p = .004$. Es zeigte sich ein Lerneffekt, die Lichtänderung wurde somit mit häufigerem Fahren öfter gesehen.

Im Szenario Manuell 2 zeigten sich signifikante Effekte für die gefahrenen Szenarios, $Z = 2.941$, $p = .003$. Weitere Effekte ergaben sich für die Lichtänderung Lauflicht 3x im Vergleich zu Blinklicht, Z = -2.405, $p = .016$ und Lauflicht Mitte im Vergleich zu Blinklicht, $Z = -2.921$, $p = .003$. Das Blinklicht ist signifikant häufiger wahrgenommen worden als die übrigen präsentierten Lichtänderungen.

Für die automatische Fahrt zeigten sich signifikante Effekte beim Alter, Z = -2.493, $p = .013$. Jüngere Probanden haben die Lichtänderung im automatischen Szenario häufiger wahrgenommen. Ebenfalls signifikante Effekte konnten bei der Lichtänderung Lauflicht Mitte im Vergleich zu Lauflicht 3x, Z = 5.111, $p = 0.001$ und bei der Lichtänderung verortetes Lauflicht im Vergleich zu Lauflicht Mitte, Z = -5.37, $p = .001$ nachgewiesen werden. Das Lauflicht aus der Mitte wurde häufiger wahrgenommen als die beiden übrigen präsentierten Lauflichter. Ein signifikanter Effekt hat sich für die Anzahl der gefahrenen Strecken im automatischen Modus gezeigt, Z = 2.111, $p = .035$. Dieser Lerneffekt zeigte sich nur innerhalb des automatischen Szenarios.

Für das Szenario Manuell 1 wurden aus den Fahrdaten des Simulators Reaktionszeiten berechnet. In die Betrachtung flossen alle Probanden ein, welche drei gültige Durchgänge mit allen

Lichtänderungen und gültiger Baseline durchfahren haben. Die Reaktionszeiten berechneten sich aus dem ersten Bremsdruck oder einem Lenkeinschlag nach links von mindestens 10° und dem Beginn der Lichtänderung. Ausschlaggebend war die erste Reaktion. Gültige Reaktionszeiten lagen im Bereich von 200 ms bis 4000 ms vom Beginn der Lichtänderung an. Kleinere Reaktionszeiten sind auf ein Erkennen der unbeleuchteten Kiste bereits vor der Lichtänderung zurückzuführen und längere Reaktionszeiten sind erst nach dem Passieren der Kiste zu verorten. 36 Probanden mit je vier gültigen Reaktionszeiten konnten in die Analyse einbezogen werden. Mithilfe des Aufbereitungstools wurden die Daten für das Statistikprogramm SPSS zur Berechnung der Varianzanalysen mit Messwiederholung aufbereitet. In der folgenden Abbildung 4.31 sind die berechneten Reaktionszeiten grafisch dargestellt. Die Standardabweichung (N = 36) war bei Blinklicht 717,52 ms, bei Lauflicht 3x 554,94 ms, bei Lauflicht Mitte 644,03 ms und bei der Baseline 619,29 ms. Die große Varianz in den Gruppen war auch bei der folgenden statistischen Auswertung durch Varianzanalysen mit Messwiederholung zu bemerken. Die im Mittel kürzeste Reaktionszeit hat die Lichtänderung Blinklicht und die im Mittel längste Reaktionszeit hat die Baseline hervorgebracht. [115]

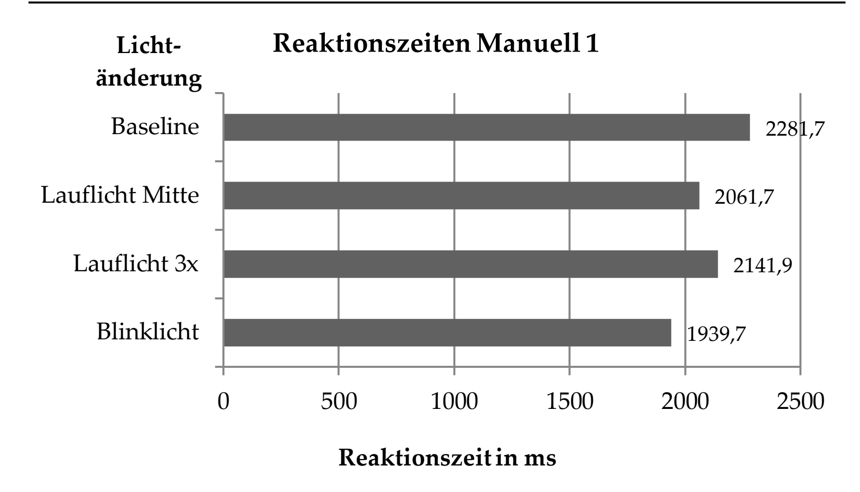


Abbildung 4.31: Reaktionszeiten für das Szenario Manuell 1 in ms der Studie C, Baseline entspricht keiner dargestellten Lichtänderung

Für die Berechnung der Varianzanalysen mit Messwiederholung wurde die Lichtänderung als Innersubjektvariable genutzt und in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse zusätzlich das Geschlecht als Zwischensubjektfaktor getestet. Die Sphärizität für den Test war gegeben. Zwischen den Lichtänderungen ist kein signifikanter Haupteffekt aufgetreten, $p = .127$. Auch innerhalb der paarweisen Vergleiche ist kein Haupteffekt aufgetreten. Der Zwischensubjektfaktor Geschlecht hat ebenfalls keine Signifikanz hervorgebracht. Die aufgestellte Nullhypothese konnte nicht widerlegt werden. Es ergab sich kein nachweisbarer Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen den Lichtänderungen.

Deskriptiv lässt sich festhalten, dass alle Reaktionszeiten mit Lichtänderung einen geringeren Mittelwert als die Baseline haben. Das

Blinklicht hat die kürzesten Reaktionszeiten ermöglicht, gefolgt vom Lauflicht aus der Mitte und die längsten Reaktionszeiten im Mittel zwischen den Lichtänderungen sind bei dem dreifach wiederholten Lauflicht aufgezeichnet worden.

Nach jedem Szenario, in denen die Probanden eine Lichtänderung wahrgenommen haben, wurden den Probanden sieben subjektive Fragen und Aussagen zur Lichtänderung gestellt. Tabelle 4.15 auf Seite 120 gibt einen Überblick über die Fragestellung. Die Zahl 0 stellt dabei eine starke Ablehnung, starke Ablenkung oder eine starke Störung dar. Die Zahl 15 stellt eine starke Zustimmung, eine starke Unterstützung oder ein sehr angenehm dar. Die unabhängige Variable war die jeweilige Lichtänderung. Die abhängige Variable war die dazugehörige Antwort auf den Fragebogen. Die sieben Varianzanalysen mit Messwiederholung sind mit der Software SPSS durchgeführt worden. In den folgenden Abbildung 4.32 bis Abbildung 4.34 sind jeweils die Mittelwerte der Antworten gruppiert nach den Szenarien, als deskriptive Statistik, dargestellt.

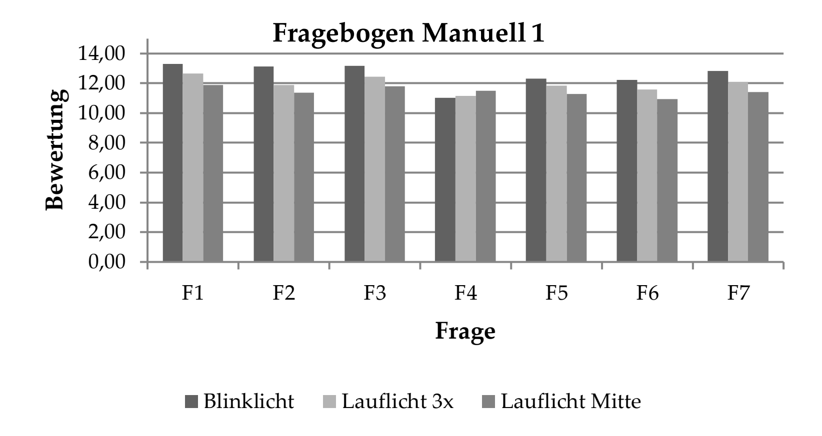


Abbildung 4.32: Mittelwerte des Kurzfragebogens für Szenario Manuell 1, (N: Blinklicht = 52, Lauflicht 3x = 50, Lauflicht Mitte = 51)

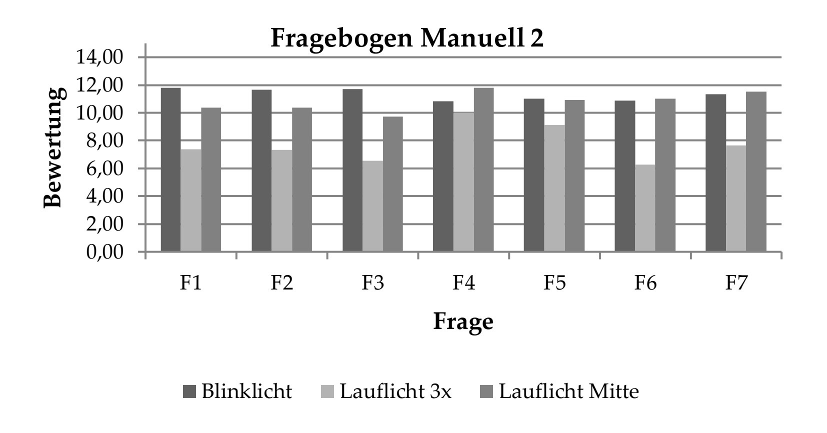


Abbildung 4.33: Mittelwerte des Kurzfragebogens für Szenario Manuell 2, (N: Blinklicht = 28, Lauflicht 3x = 15, Lauflicht Mitte = 11)

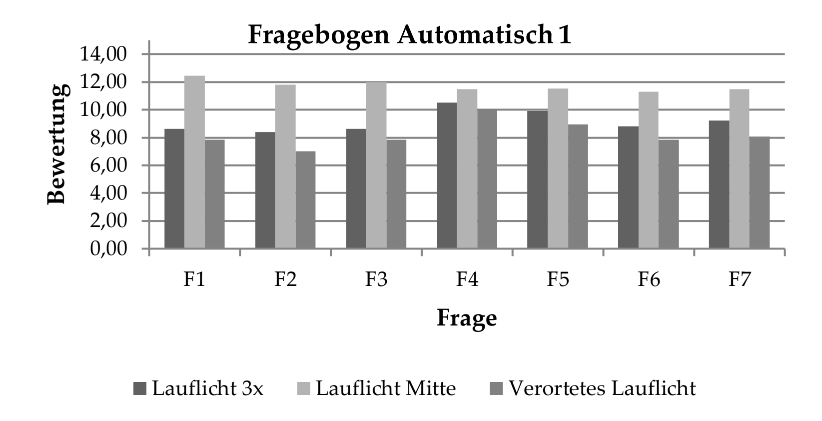


Abbildung 4.34: Mittelwerte des Kurzfragebogens für Szenario Automatisch 1, (N: Lauflicht 3x = 22, Lauflicht Mitte = 54, Verortetes Lauflicht = 19)

In den Szenarios Manuell 2 und Automatisch 1 ist auf die unterschiedlichen N Werte der einzelnen Lichtänderungen hinzuweisen. Als ersten Trend lässt sich aus dem Szenario Manuell 2 ableiten, dass das Lauflicht 3x negativer bewertet wurde als die beiden anderen Lichtänderungen. Im Szenario Automatisch 1 ist zu erkennen, dass hier das Lauflicht aus der Mitte besser bewertet wurde als die restlichen beiden Lichtänderungen.

In der weiteren Analyse der Daten des Fragebogens wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Für das Szenario Manuell 2 sind durch fehlende Werte nur 5 vollständige Datensets und für das Szenario Automatisch 1 nur 13 vollständige Datensets vorhanden. Die Analyse war nur für das Szenario Manuell 1, mit 42 vollständigen Datensets, statistisch valide auswertbar. Die signifikanten Effekte sind in Tabelle 4.18 zusammengefasst.

Tabelle 4.18: Signifikante Haupteffekte des subjektiven Fragebogens zwischen den Lichtänderungen im Szenario Manuell 1, F1-F6: Sphärizität gegeben, F7: Nicht gegeben >.75 Huynh-Feldt

Frage	Haupteffekt Lichtänderungen	Paarweiser Vergleich und Analyse
F1 – leicht wahrnehmbar	Ja (p < .001), η^2 = .211	- Blinklicht besser als Lauflicht Mitte - Lauflicht 3x besser als Lauflicht Mitte
F2 – Dynamik geeignet Aufmerksamkeit zu gewinnen	Ja (p < .001), η^2 = .206	- Blinklicht besser als Lauflicht 3x - Blinklicht besser als Lauflicht Mitte
F3 – Aufmerksamkeit schnell gewinnen	Ja (p < .001), η^2 = .165	- Blinklicht besser als Lauflicht Mitte
F6 – Aufmerksamkeit schnell auf Fahrgeschehen	Ja (p = .017), η^2 = .097	- Blinklicht besser als Lauflicht Mitte
F7 – Lichtänderung insgesamt hilfreich	Ja (p = .007), η^2 = .127	- Blinklicht besser als Lauflicht Mitte

Der subjektive Fragebogen AttrakDiff wurde nach dem Sichten der im Versuch verwendeten Lichtänderung ausgefüllt. Abbildung 4.35 gibt einen Überblick über die Verteilung der subjektiven Bewertung zwischen Lauflicht und Blinklicht. Es ist zu erkennen, dass das Lauflicht als attraktiver als das Blinklicht bewertet wurde.

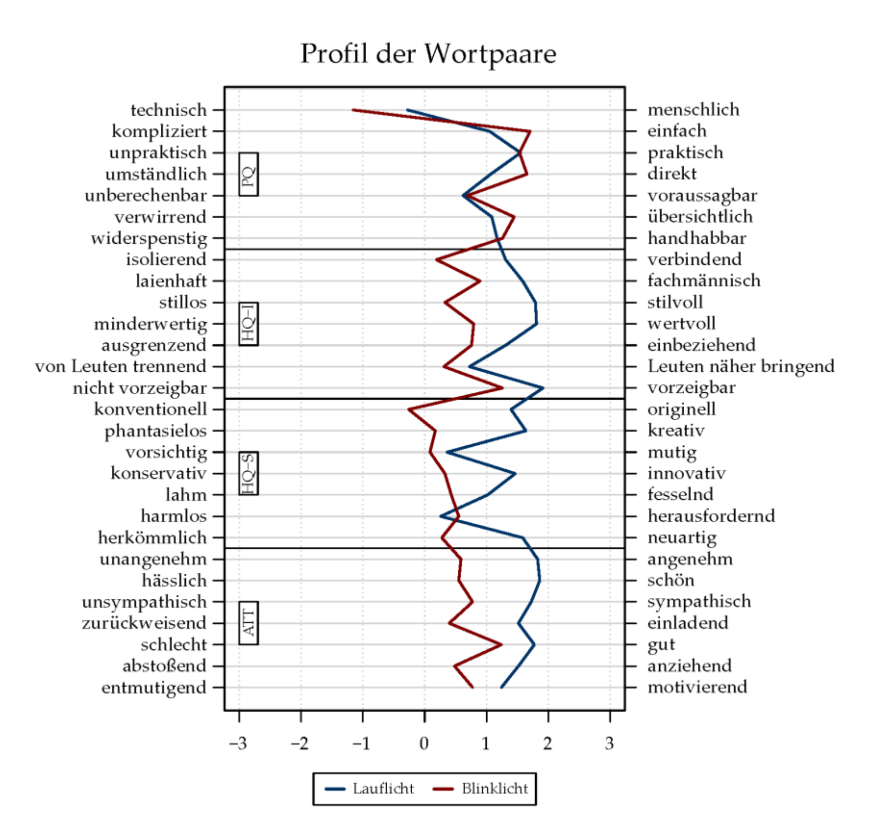


Abbildung 4.35: Profil der Wortpaare des AttrakDiff Fragebogens in der Darstellung eines semantischen Differentials mit zwei Datenreihen für Lauflicht und Blinklicht, PQ: pragmatische Qualität, HQ-I: hedonische Qualität – Identität, HQ-S: hedonische Qualität – Stimulatio

Abbildung 4.36 zeigt eine zweite Darstellung zur Veranschaulichung der hedonischen und pragmatischen Qualität der beiden getesteten Lichtänderungen. Das Lauflicht wurde begehrter und selbstorientierter als das Blinklicht bewertet. Das Blinklicht dagegen neutraler und handlungsorientierter bewertet. Die beiden 95 % Konfidenzintervalle sind nur wenig größer als die beiden ermittelten Mittelwerte. Dies weist auf eine geringe Streuung in den Antworten hin.

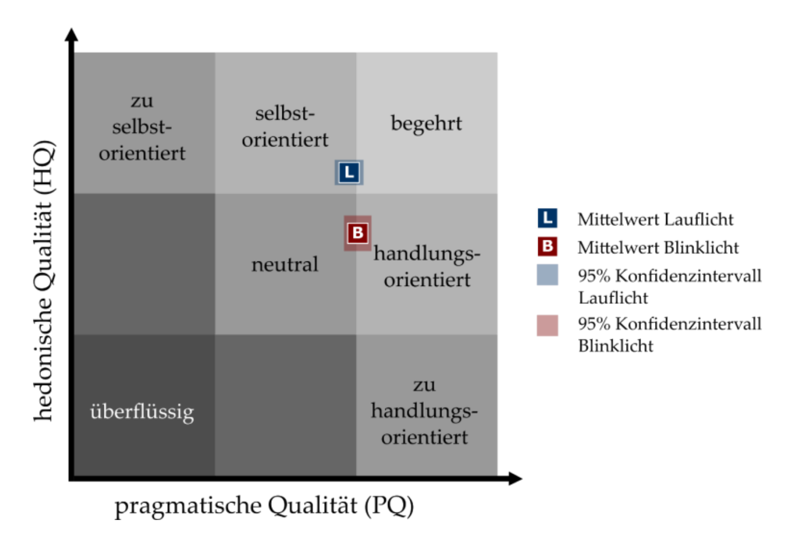


Abbildung 4.36: Auswertung AttrakDiff Fragebogen hinsichtlich der hedonischen und pragmatischen Qualität

Am Ende der Untersuchung wurde ein teilstandardisiertes Interview durchgeführt. Alle Fragestellungen aus diesem Interview werden in Anhang B.3.1 beschrieben und die Ergebnisse des Interviews werden in Anhang B.3.3 zusammengefasst.

4.3.8 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

4.3.8.1 GESEHENE LICHTÄNDERUNGEN

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse der Untersuchung diskutiert und interpretiert. Im Vergleich der Lichtänderungen miteinander gab es Unterschiede in der Möglichkeit der Auswertung zwischen den einzelnen Szenarien. Im gesamten Versuch wurden 62 % der Lichtänderungen wahrgenommen. Im Szenario Manuell 1 lag die Wahrnehmung bei allen drei Lichtänderungen über 90 %. Mithilfe des Maßes der gesehenen und nicht gesehenen Lichtänderungen ließ sich kein Favorit für das Szenario Manuell 1 herausfinden.

Im Szenario Manuell 2 ist die Lichtänderung Blinklicht mit einem Maximum von knapp 53 % von den Probanden wahrgenommen worden. Die Lichtänderung Lauflicht 3x knapp 30 % und das Lauflicht aus der Mitte wurde zu knapp 23 % wahrgenommen. Als Grund für die geringere Wahrnehmung lässt sich der Szenariotyp vermuten. Es handelte sich in diesem Szenario um eine Stadtfahrt mit ortsfester Beleuchtung. Durch die Straßenleuchten war das Level der Außenbeleuchtungsstärke höher als in den anderen beiden Autobahnszenarien. Es lässt sich vermuten, dass das Leuchtdichteniveau der Lichtänderungen für diese höhere Außenbeleuchtungsstärke nicht ausreichend war.

Im Szenario Automatisch 1 ist nur die Lichtänderung Lauflicht aus der Mitte von über 90 % der Probanden wahrgenommen worden. Die

Lichtänderung Lauflicht 3x wurde knapp 40 % und die Lichtänderung verortetes Lauflicht knapp 34 % wahrgenommen. Über 16 % der Probanden haben die Baseline als Lichtänderung wahrgenommen. Durch die in dieser Versuchsmethode hohe Ablenkung durch die Nebenaufgabe während der automatischen Fahrt, wurde die Lichtänderung Lauflicht aus der Mitte, mit dem Startpunkt über dem Display der Nebenaufgabe, am meisten wahrgenommen. Der Blick der Probanden war auf das Display gerichtet und so war der blicklenkende Charakter durch den Mitzieheffekt des Lauflichtes gut zu beobachten. Die Probanden haben ausgesagt, dass die Scheinwerfer des von hinten herankommenden Fahrzeuges in der Baseline teilweise als Lichtänderung wahrgenommen wurden, es bestand die gleiche Wahrscheinlichkeit der Fehlinterpretation ebenfalls bei den drei weiteren getesteten Lichtänderungen.

Durch mehrfaches Wahrnehmen der Lichtfunktion stieg die Wahrnehmungswahrscheinlichkeit der Lichtänderungen. Es kann angenommen werden, dass die Wahrnehmungswahrscheinlichkeit durch das Erklären der Funktion gesteigert werden kann. Dieser Lerneffekt kann ebenfalls durch eine Erstkonfiguration mit beispielhaftem Darstellen der Funktion adressiert werden. Der Einfluss des Alters im Szenario Automatisch 1 könnte auf die stark fokussierte Blickausrichtung, auf die Nebenaufgabe und auf das sich im Alter einschränkende Blickfeld zurückführen sein. [116]

4.3.8.2 REAKTIONSZEITEN

Im Szenario Manuell 1 wurden Reaktionszeiten der Ausweichmanöver berechnet. Zwischen den Reaktionszeiten gab es keinen signifikanten Unterschied. Deskriptiv betrachtet waren die Mittelwerte der Reaktionszeiten mit Lichtänderung alle geringer als der Mittelwert der Baseline ohne Lichtänderung. Durch die Lichtänderungen ist es zu kürzeren Reaktionszeiten, also zu einem schnelleren Beginn eines Ausweichmanövers, gekommen.

4.3.8.3 SUBJEKTIVE FRAGEBÖGEN

Der Kurzfragebogen mit sieben subjektiven Fragen zur wahrgenommenen Lichtänderung wurde im Szenario Manuell 1 statistisch ausgewertet. Die Lichtänderungen übernahmen in diesem Szenario einen Warncharakter. Leicht wahrnehmbar, schneller Aufmerksamkeit gewinnend, lenkend und hilfreicher als andere Lichtänderungen wird das Blinklicht wahrgenommen. Aus diesem Grund eignet es sich sehr gut, um auf den im Szenario schwer erkennbaren Gegenstand hinzuweisen und den abgelenkten Fahrer gleichzeitig zum Ausweichen zu bewegen. Dafür war sowohl das schnelle Gewinnen der Aufmerksamkeit als auch das schnelle Lenken der Aufmerksamkeit auf das Fahrgeschehen wichtig.

Der am semantischen Differential orientierte Fragebogen AttrakDiff zeigte, dass ein Blinklicht als mehr handlungsorientiert eingestuft wurde. Die Lichtmodalität Blinklicht eignete sich demnach gut für die Anwendung als Warnsystem in den manuellen Szenarien. Das

Lauflicht wurde als begehrter und sympathischer eingestuft. Die konzeptionelle Ausrichtung der Anwendung des Lauflichtes in dem automatischen Szenario bestätigte sich, da in diesen Szenarien der Fokus nicht auf einer Warnung, sondern auf einer Information lag. Die Ergebnisse stimmten mit den subjektiven Ergebnissen der vorangegangenen Studien überein.

Im Interview bestätigten sich ebenfalls die Annahmen aus der Konzeption. Die Blicklenkung wurde positiv angenommen und funktionierte auch mit dem Blicktransfer vom Licht im Innenraum zu den Ereignissen im Außenraum. Die Grundfarbe der ambienten Beleuchtung in der manuellen Fahrt sollte aus subjektiver Sicht der Probanden angepasst werden. Nur 37 % der Probanden waren mit der gezeigten Farbe zufrieden. Das Lauflicht im Allgemeinen hatte subjektiv einen höheren Zuspruch als das Blinklicht.

Bei der weiteren Ausgestaltung der Lichtfunktion empfiehlt es sich, eine Kombination von Lauflicht und Blinklicht aufzunehmen. In der automatischen Fahrt bewerteten 64 % der Probanden die Farbe der Lichtänderung mit gut. Die Farben sollten in den beiden Fahrzuständen unterschiedlich behandelt werden. Im automatischen Modus bieten sich mehr Freiheiten an.

4.3.9 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Schlussfolgerungen ergeben sich aus den erhobenen Daten und Ergebnisinterpretationen der vorangegangenen und in diesem Kapitel beschriebenen Untersuchungen. Im manuellen Fahren wird das

Blinklicht zur weiteren Konzeptausarbeitung genutzt. Zusätzlich zur physiologisch gut wahrnehmbaren Helligkeitsänderung könnte erweiternd für passende Szenarien und für einen stärkeren Warncharakter in den Konzepten, die Farbe Rot genutzt werden. Durch die Kombination von Helligkeits- und Farbänderung wurde sowohl die physiologische als auch die subjektive Komponente in den Konzepten berücksichtigt. Zur Steigerung der Wahrnehmungswahrscheinlichkeit sollte bei Warnungen im weit entfernten peripheren Sehbereich zusätzlich zum Blinklicht ein mitziehendes Lauflicht genutzt werden. Die Fahrer können durch eine Präsentation der Lichtänderung bei Fahrzeugstart von einem Lerneffekt profitieren.

Für den Zustand des automatischen Fahrens hat sich das vorgesehene Lauflicht bestätigt. Das Lauflicht mit Start am aktuellen Fixationspunkt sollte im Konzept weiter genutzt werden. In der Untersuchung wurde dies durch die mittige Nebenaufgabe und den Startpunkt des Lauflichtes in der Mitte realisiert. Die Position der Lichtänderung kann somit im Armaturenbrett und den Seitentüren auftreten. Die Farbe der Lichtänderung sollte durch den Fahrer individualisierbar sein, wobei als Standardfarbe die aktuell eingestellte Farbe des Ambientelichtes genutzt werden sollte.

4.4 STUDIE D: ÜBERPRÜFUNG IN REALFAHRT

4.4.1 EINORDNUNG UND WISSENSCHAFTLICHER KONTEXT

In der vorangegangenen Simulatorstudie wurden Anwendungsszenarien für die Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung im manuellen und automatischen Fahren untersucht. In dieser Studie ist die Innenraumlichtfunktion in einem manuellen Szenario in einer Realfahrtstudie näher untersucht worden. Dabei erfolgte gleichzeitig ein Vergleich mit einer Serienfunktion der Fahrerassistenz, dem Night Vision Assistent. Das Szenario der Untersuchung ist vergleichbar zu einem Szenario aus der Simulatorstudie konstruiert worden. In der manuellen Fahrt erfolgte eine Warnung auf ein stehendes Hindernis in der Nähe der Fahrbahn. Die Innenraumlichtfunktion ist im durchgeführten Anwendungsfall als aufmerksamkeitslenkende Assistenzfunktion getestet worden.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungen fanden in der weiteren Konzeptentwicklung Berücksichtigung. Für den Warncharakter ist ein Blinklicht in der ambienten Innenraumbeleuchtung genutzt worden. Als Untersuchungsfarbe wurde sich für die Vergleichbarkeit mit der vorangegangenen Simulatorstudie und aufgrund des identischen technischen Aufbaus ebenfalls für die Farbe Weiß entschieden. Die Wahrnehmungsschwellen sind aus den vorangegangenen Untersuchungen übernommen worden.

HOLLNAGEL UND KÄLLHAMMER [117] haben in drei unterschiedlichen Simulatorstudien verschiedene Ausprägungen und Effekte von Night Vision Systemen untersucht. Ein Ergebnis war, dass Probanden mit aktiviertem Night Vision System nicht signifikant schneller fuhren als ohne System.

SIVAK [118] beschreibt, dass während des Fahrens eines Fahrzeuges die visuelle Art der Sinneswahrnehmung eine der wichtigsten und gleichzeitig auch die am meisten verlangte Art der Sinneswahrnehmung ist.

REINPRECHT [119] beschreibt in seiner Simulatorstudie, dass ein Lichtwarnsystem für querende Fußgänger auch bei müden Fahrern sehr effektiv Unfälle vermeiden konnte. Ein weiß blinkendes Licht hat bei 5 von 7 Fahrern deutlich schnellere Reaktionszeiten hervorgerufen. Für die Studie wurde eine Nachtsimulation verwendet, die jeweils um 20 Uhr abends begann.

KOVORDANYI [120] beschreibt die Funktionsweise von Night Vision Systemen. Das Assistenzsystem stellt ein zusätzliches vergrößertes Bild der vorausliegenden Straße dar. Das Bild wird durch eine oder zwei Wärmebildkameras erzeugt. Deren Sensoren sind in der vorderen Stoßstange vom Fahrzeug positioniert. Als Ferninfrarot System reagiert das System auf von Objekten abgegebene Wärme. Somit können lebende Objekte gut von der Umwelt differenziert werden. Eine intelligente Warnung beispielsweise vor Fußgängern ist möglich.

JEFTIC [121] sagt aus, dass Fahrer mit Night Vision Systemen oft und lange auf das Display schauen, anstatt auf die Straße. Fahrer müssen

durch den häufigen Wechsel zwischen Display und Fahrbahn oft neu fokussieren und Ihre Aufmerksamkeit immer neu ausrichten.

LAQUAI ET AL. [122] haben in ihrer Realfahrtstudie ebenfalls lichtbasierte Fahrerassistenzsysteme im Innenraum untersucht. In ihrer Untersuchung hat sich die Anwendbarkeit solcher Systeme als positiv bestätigt. Es wurde eine gleichmäßigere Verzögerung und eine zeitigere Reaktion auf Hindernisse erfasst.

MAHLKE ET AL. [123] untersuchten in ihrer Studie sechs verschiedene Night Vision Systeme in einer Realfahrt. Die Systeme waren mit Display Anzeigen oder mit einer LED Leiste als HMI Schnittstelle ausgerüstet. Dabei sind die Kriterien Wirksamkeit, Effizienz und Nutzerzufriedenheit untersucht worden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Verständlichkeit der angezeigten Informationen, die Verortung der angezeigten Objekte in der Umwelt und die Position des Anzeigedisplays einen großen Einfluss auf die einfache Nutzung und die Akzeptanz von Night Vision Systemen haben. Keines der getesteten Night Vision Systeme erzielt in Bezug auf die Wahrnehmungsentfernung eine signifikante Verbesserung zur Baseline Fahrt ohne System. Ebenso ergab sich bei keinen Night Vision System eine signifikante Verbesserung in der Erkennungsrate des Hindernisses gegenüber der Baseline Fahrt. Im Vergleich der Systeme untereinander wird beschrieben, dass das System mit der LED Leiste als Anzeige die besten Ergebnisse in den Kategorien Wirksamkeit und Effizienz erzielte. Die Nutzerzufriedenheit war bei diesen Systemen ebenfalls sehr gut. Das LED System ist sehr einfach zu erlernen. Durch den Wegfall einer dauerhaften Display Anzeige wird der Fahrer weniger

von der Straße abgelenkt. Die LED Leiste zeigte nur dann Informationen an, wenn das System ein Hindernis erkannt hat. Die Autoren empfehlen, dieses System in der zukünftigen Entwicklung von Night Vision Systemen zu berücksichtigen.

Die zitierten Arbeiten erläutern die wichtige Bedeutung der visuellen Modalität für das Führen eines Fahrzeugs. Ebenso wurden Night Vision Systeme näher betrachtet. Die verschiedenen Methoden aus den genannten Studien bilden die Grundlage für die folgende Realfahrtstudie. Ein Vergleich einer Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung mit einem Night Vision System fehlt in der Literatur.

4.4.2 KONZEPTENTWICKLUNG

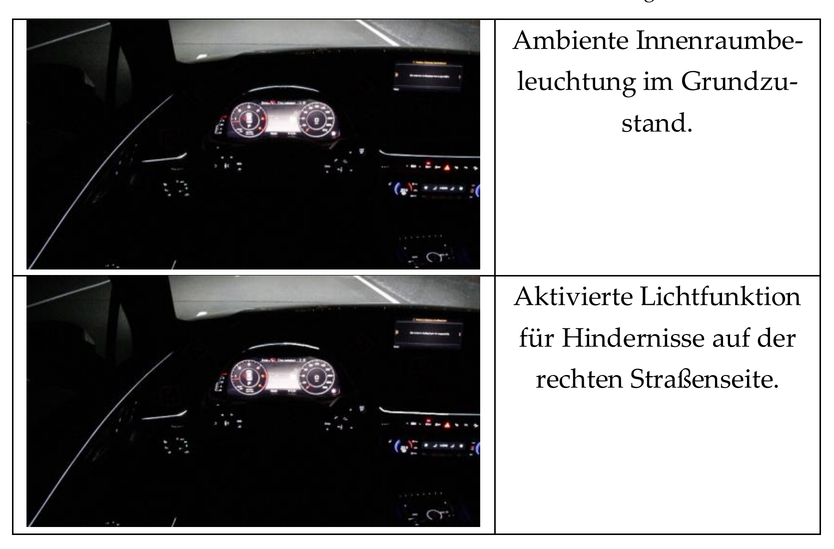
Im folgenden Szenario wird der Fahrzustand des manuellen Fahrens betrachtet und die dafür entwickelten und erprobten Lichtänderungen aus den vorangegangenen Untersuchungen weiter genutzt. Das ausgearbeitete Konzept basiert auf der außerstädtischen Geradeausfahrt aus Studie C, siehe Kapitel 4.3.2. Das Simulatorszenario hat mithilfe verschiedener Lichtfunktionen auf einen schwer zu sehenden unbeleuchteten Gegenstand hingewiesen. Die funktionale ambiente Innenraumbeleuchtung wird in diesem Anwendungsfall weiter zur Gefahrenwarnung auf mögliche Hindernisse in der nächtlichen Fahrt genutzt. Die grundlegenden Annahmen der peripheren Lichtwarnung und deren Wirkung werden weiterhin als Annahme genutzt, siehe dazu Kapitel 4.3.2.

Als Grundlage des Szenarios wird ein Fahrer angenommen, welcher in der Nacht in einem Fahrzeug auf einer unbeleuchteten Landstraße oder Autobahn fährt. Am Fahrbahnrand steht ein Tier, beispielsweise ein Reh. Vor diesem Tier wird der Fahrer mithilfe der Innenraumlichtfunktion gewarnt. Die konzeptionelle Gestaltung der Lichtänderung ist aus der vorherigen Untersuchung übernommen worden, es wird weiter das Blinklicht genutzt. Diese Lichtänderung bewährte sich in den Ergebnissen der Studien für eine Warnung durch die Innenraumlichtfunktion.

Als Grundlage für das System wird die Sensorik und der Erkennungsalgorithmus des Night Vision Assistenten genutzt. Der Night Vision Assistent hat das gleiche Ziel wie die Innenraumlichtfunktion. Die Unterscheidung der Konzepte erfolgt in der Anzeigemodalität. Der Night Vision Assistent zeigt dem Fahrer ein Videobild der Straße dauerhaft oder zum Warnzeitpunkt mit einem zusätzlichen Warnton an. Als Ortsinformation wird das Reh im Videobild rot umrandet. Das Konzept der Innenraumlichtfunktion zielt auf die geringere Ablenkung der Anzeige durch die Lichtlinie ab. Die Innenraumlichtfunktion fokussiert sich demnach auf eine einfache Warnung durch Licht. Die dem Fahrer angezeigten Warnzeitpunkte sind gleich denen des Night Vision Systems. Dabei wird in der Innenraumlichtfunktion zwischen dem linken und rechten Fahrbahnrand als Ortsinformation unterschieden. Die Unterscheidung für die Ortsinformation zwischen linkem und rechtem Hindernis resultiert über die Position der Lichtänderung. Die Darstellung erfolgt links und rechts vom Lenkrad mit jeweils gleichem Startpunkt mittig hinter dem Lenkrad. Die durchgängige weiße ambiente Innenraumbeleuchtung übermittelt

damit gleichzeitig zwei Informationen, eine Warnung und eine Ortsinformation. Die Größe der Lichtänderung ist aus den Ergebnissen der vorangegangenen Studien mit mindestens der mittleren Ausdehnung abgeleitet worden. Bedingt durch die mögliche Verdeckung der ambienten Lichtlinie durch das Lenkrad, fand eine Anpassung auf die große Ausdehnung der Lichtänderung statt.

Tabelle 4.19: Innenraumlichtfunktion in der ambienten Beleuchtung für Hindernisse



	Ambiente Innenraumbeleuchtung im Grundzustand.
	Aktivierte Lichtfunktion für Hindernisse auf der rechten Straßenseite.

Die beabsichtigte Aufmerksamkeitsverlagerung auf das Hindernis am Fahrbahnrand soll, wie in Tabelle 4.19 dargestellt, in dieser Untersuchung nur durch die Lichtänderung Blinklicht hervorgerufen werden.

4.4.3 TECHNISCHER AUFBAU

Im Folgenden wird der technische Umbau des Versuchsträgers und des Targets (Reh) beschrieben. Das Versuchsfahrzeug für die Realfahrtstudie war ein Audi Q7 mit Baujahr 2015. Das Fahrzeug verfügt über ein Automatikgetriebe. In den Versuchsträger wurden eine funktionale ambiente Innenraumbeleuchtung und Computertechnik zur Fahrzeuganbindung installiert. Alle für den Versuch relevanten Änderungen werden nachfolgend beschrieben.

Der grundlegende technische Aufbau aus den vorangegangenen Studien im Simulator ist übernommen und auf das Fahrzeuginterieur übertragen worden. Im Cockpit wurde eine durchgehende ambiente LED Leiste installiert. Diese reichte vom hinteren Ende der Fahrertür bis zum hinteren Ende der Beifahrertür. Für den Umbau ist analog zu den vorangegangenen Aufbauten ebenfalls ein LED Streifen der Marke *Adafruit Industries* verwendet worden. Der LED Streifen vom Modell *NeoPixel* besitzt 144 digital ansteuerbare RGB LEDs pro Meter. Alle LEDs auf dem LED Streifen sind parallel geschalten und durch eine durchgehende Datenleitung verbunden. Insgesamt umfasste der LED Streifen 480 RGB LEDs.

Für die Implementierung der ansteuerbaren ambienten LED Leiste wurde zu Beginn ein optisches Konzept ausgearbeitet. Herausforderung dabei war der geringe Bauraum sowohl in der Türverkleidung als auch im Armaturenbrett. Der LED Streifen ist um 90° zur Austrittsfläche gedreht worden und strahlt somit auf eine 45° Fläche zur Lichtumlenkung. Diese Fläche wurde für eine erste Verdunklung des Lichtstrahls matt schwarz lackiert. Nach der Lichtreflexion folgte eine

0,9 Neutraldichtefolie für eine zweite Abdunkelung (*Rosco E-Colour # 211 ND 0,9*). Im Anschluss daran befindet sich ein Diffusor. Dieser besteht aus einem Kunststoffmaterial mit gleichem Transmissionsgrad wie in den vorangegangenen Aufbauten (Transmissionsgrad τD65 von 69 %). Der Diffusor reduziert ebenfalls die Austrittsfläche der Lichtlinie auf eine Höhe von 1 mm. Die vordere Fläche des Diffusors ist für die Insassen des Fahrzeugs direkt sichtbar.

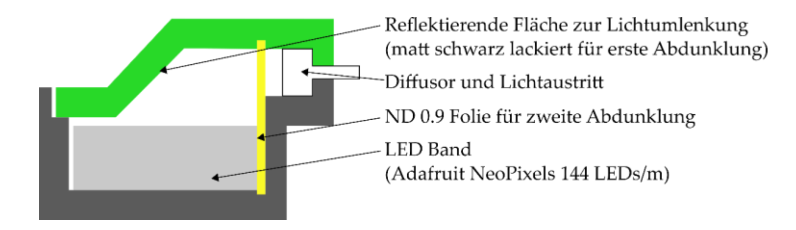


Abbildung 4.37: Konzeptzeichnung eines Schnitts des Bauteils zur Implementierung der ambienten Lichtlinie im Versuchsfahrzeug

Der Verlauf der Lichtlinie ist am Design der originalen ambienten Lichtlinie orientiert und wird wenn möglich an gleicher Position geführt. Für die Durchgängigkeit des Linienverlaufes wurden alle im Serienfahrzeug fehlenden Abschnitte neu hinzugefügt. So entstand im Dashboard und in den Türen eine durchgehende Lichtlinie. Neu hinzugefügte Bereiche sind die Verbindung über dem Kombiinstrument und die Erweiterung der Lichtlinie auf die gesamte Türbreite der beiden vorderen Türen. Siehe Abbildung 4.38 zur Darstellung der Position der ambienten Lichtlinie. Die ambiente Innenraumbeleuchtung integriert sich bis auf die schmale Lichtaustrittsfläche von 1 mm unsichtbar im Cockpit des Versuchsfahrzeugs.



Abbildung 4.38: Durchgängige weiße Lichtlinie im Versuchsfahrzeug Audi Q7 und Verdeckung der Lichtlinie durch Lenkrad aus Kameraposition

Die Ansteuerung des RGB LED Streifen erfolgt mit dem 8-bit Mikrocontroller *ATMEL AT90CAN128*. Dieser verfügt über einen CAN Controller und wird über diesen im Fahrzeug über einen Private CAN angesteuert. Der Controller und die Stromversorgung mit Hauptschalter der ambienten Beleuchtung sind für den Probanden nicht sichtbar im Handschuhfach verbaut worden.

Als Steuer- und Aufzeichnungssystem diente ein Linux Laptop mit der Software ADTF. Für die Verarbeitung der Eyetracking Daten wurde ein Windows Laptop genutzt. Die Laptops waren mithilfe eines stabilen Halters auf der zu 2/3 umgeklappten Rückbank montiert und zusätzlich mit einer Neutraldichtefolie abgedunkelt, siehe Abbildung 4.39. Mithilfe eines Apple iPods und eines AUX Kabels wurde die Nebenaufgabe gesteuert und über die Fahrzeuglautsprecher abgespielt.

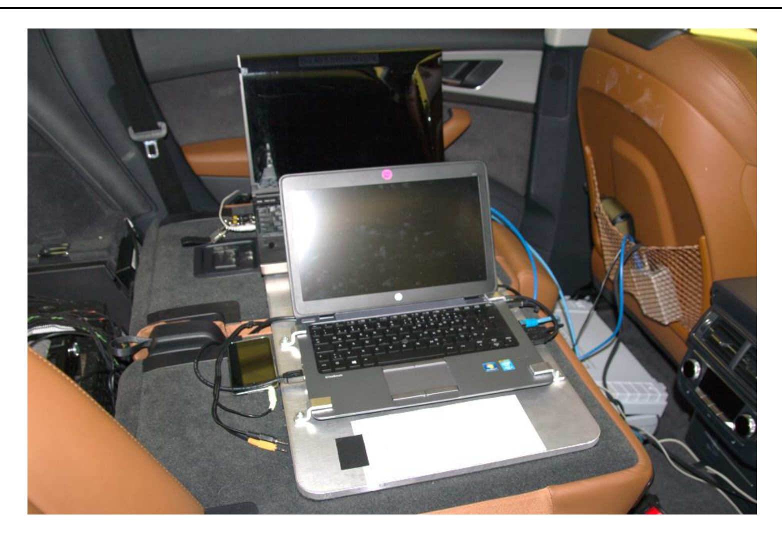


Abbildung 4.39: Positionierung der Laptops (vorderer Laptop für ADTF, hinterer Laptop für Eyetracking) auf der umgeklappten Rückbank des Versuchsfahrzeugs und Apple iPod für Nebenaufgabe

Mithilfe zweier CAN Gates (*PEAK CAN Pro*) wurden sowohl die Fahrzeugdaten aufgezeichnet als auch die LED Leiste gesteuert. Durch den Laptop wurde das Steuergerät des Night Vision geroutet. Die Signale des Seriensteuergerätes für das Auslösen auf ein Wildtier konnten so von der Software verarbeitet werden. Die Fahrzeugdaten, beispielsweise Geschwindigkeit oder die Lenkradtaste, wurden parallel mitgeschrieben.

Die Stromversorgung der Laptops funktionierte über eine Zweitbatterie (grüner Rahmen) mit angeschlossenem Spannungswandler (blauer Rahmen) von 12 V auf 230 V. Die Zweitbatterie wurde entweder über die Lichtmaschine oder über eine externe 230 V Stromversorgung mittels Ladegerät (gelber Rahmen) geladen. Der technische

Aufbau im Kofferraum ist komplett im zweiten Ladeboden untergebracht und in Abbildung 4.40 abgebildet.



Abbildung 4.40: Technischer Aufbau im unteren Ladeboden des Kofferraums, roter Rahmen = CAN Gates, grüner Rahmen = Zweitbatterie, gelber Rahmen = Ladegerät, blauer Rahmen = Spannungswandler 12 V auf 230 V

Die Aufzeichnung des Eyetracking System der Firma *Ergoneers GmbH* erfolgte per Brille, welche die Probanden auf dem Kopf hatten. Im Sichtfeld der Probanden befanden sich zur Verortung der Blickdaten vier spezielle ortsfeste QR Codes. Durch deren Positionierung wurden keine relevanten Cockpitbereiche oder der Blick auf die Straße verdeckt. Die Eyetracking Software *D-LAB 3.0* nahm ebenfalls das Tonprotokoll auf. Alle Aufnahmen wurden zeitsynchron aufgenommen.



Abbildung 4.41: Positionierung der QR Codes für die Blickerkennung im Versuchsfahrzeug

In der Untersuchung ist ein beheiztes lebensgroßes Reh als Target genutzt worden. Das Reh bestand aus einem mit braunem Stoff überzogenen Kunststoffgrundkörper, welcher in Abbildung 4.42 dargestellt ist. Die Rehform war mit einem Heizdraht ummantelt und auf eine Temperatur von circa 30 Grad erwärmt.



Abbildung 4.42: Beheiztes Target (Reh) der Realfahrt

4.4.4 FORSCHUNGSFRAGEN

Die Fragestellungen an diese Realfahrtstudie folgten aus der vorangegangenen Simulatorstudie. Teilaspekte der Konzepte aus der vorangegangenen Studie sollten im Realfahrzeug untersucht und mit aktuellen Seriensystemen verglichen werden. Die Art der Lichtänderung ergibt sich aus den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen und wird als ausreichend untersucht und hergeleitet angesehen.

Folgende Forschungsfrage stellt sich an diese Realfahrtstudie:

- Funktioniert die funktionale ambiente Innenraumbeleuchtung effektiver und effizienter als das Assistenzsystem Night Vision oder kein Assistenzsystem?

Unterteilen lässt sich diese Frage in zwei Unterkategorien, zum einen in die Effektivität und zum anderen in die Effizienz der Systeme.

Die Effektivität beschreibt die Entdeckungsraten der Gefahrenquellen und die Reaktionszeiten der Probanden. Die Effizienz beschreibt die visuelle und mentale Beanspruchung durch das System.

Folgender Nullhypothese soll in der Untersuchung nachgegangen werden:

- Die Blickdauer in Richtung des Fahrerinformationsdisplays unterscheidet sich nicht zwischen dem Night Vision System und der Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung.

Darüber hinaus werden subjektive Fragestellungen zu den Untersuchungsinhalten beantwortet.

- Wie werden Nutzen, Gestaltung und Ausprägung der funktionalen ambienten Innenraumbeleuchtung gegenüber dem Seriensystem und gar keinem System bewertet?

Diese Frage richtet sich an die Faktoren Helligkeit und Farbe der Lichtänderung und an das intuitive Verständnis der Funktionalität.

4.4.5 METHODE

Zur abschließenden Untersuchung der ersten Variante der Lichtfunktion ist die Studie als Realfahrt auf einem abgesperrten Testgelände durchgeführt worden. In der Versuchsumgebung konnten störende Einflussfaktoren, wie andere beleuchtete Fahrzeuge, vermieden werden. Der Versuch startete immer an einer zentralen Stelle auf dem Testareal, zu der die Probanden gebracht und abgeholt wurden.

Die unabhängigen Variablen waren dabei die Position der Gefahr und das genutzte Assistenzsystem. Die wahrzunehmende Gefahr ist dem Probanden sowohl links als auch rechts präsentiert worden. Als Assistenzsysteme sind der Nachtsichtassistent/Night Vision Assistent (Seriensystem), die funktionale ambiente Beleuchtung und eine Baseline (kein Fahrerassistenzsystem) verglichen worden. Die abhängigen Variablen waren das Fahrverhalten, das Blickverhalten und die subjektive Beurteilung. Zum Fahrverhalten gehörten die Lenk-, Gaspedal- und Bremspedalbetätigung sowie die TTC mit dem Gefahrenobjekt. Das Blickverhalten beschreibt die Anzahl und die Verweildauer auf den Areas of Interest (Straße, Fahrzeuginnenraum). Die Aufzeichnung des Eyetracking erfolgte mit dem Dikablis-System. Für die subjektive Beurteilung wurde ein Tastendruck für die Wahrnehmung des Hindernisses aufgezeichnet.

Die Probanden sind in der manuellen Fahrzeugführung durch eine Nebenaufgabe abgelenkt worden. Mit dieser Ablenkung wurde ein Telefonieren während der Fahrt simuliert. Bei der Nebenaufgabe handelte es sich um eine auditiv verbale Ablenkung, die jeweils auf gerader Strecke abgespielt wurde. Die Versuchsteilnehmer mussten

sich kurze Sätze anhören, deren Kontext war entweder sinnvoll oder sinnlos. Nach jedem Satz hat der Proband eine verbale Rückmeldung gegeben, ob der Satz sinnvoll oder sinnlos war. Die Bearbeitung der Aufgabe erfolgte für die Teilnehmer kontinuierlich. Beispiele für einen sinnvollen und einen sinnlosen Satz sind: „Schüler lernen rechnen.“ und „Autos essen Bücher.“. In der Umsetzung wurden die Sätze auf die drei Fahrten verteilt, in der sie dann in zufälliger Reihenfolge abgespielt worden sind. Die verbale Antwort der Probanden ist aufgezeichnet worden, so dass eine nachträgliche Auswertung der Antworten möglich gewesen wäre.

Die Untersuchung wurde mit 39 Probanden durchgeführt, welche aus dem Probandenpool der Volkswagen AG stammten. Ein Proband musste aufgrund einer Softwarestörung während des Versuches von der Datenauswertung ausgeschlossen werden. 29 der Probanden waren jünger oder gleich 45 Jahre und neun Probanden älter als 45 Jahre, wobei das Durchschnittsalter bei 37,3 Jahren lag. Die Alterseinteilung ist aus der vorangegangenen Untersuchung übernommen worden, siehe Kapitel 4.3.5. Der jüngste Teilnehmer war 20 Jahre und der älteste 57 Jahre. Sechs der Probanden waren weiblichen und 32 männlichen Geschlechts. Probanden aus den vorangegangenen Studien wurden ausgeschlossen. Weitere soziodemografische Daten sind in der nachfolgenden Tabelle 4.20 dargestellt.

Tabelle 4.20: Soziodemografische Daten zur Stichprobe der Studie D

Fragestellung	Prozentuale Antwort der Stichprobe				
Jährliche Fahrleistung	16 % unter 15.000 km	55 % unter 30.000 km	24 % unter 45.000 km	5 % unter 60.000 km	
Anteile der Nacht-fahrten	13 % unter 20 %	58 % unter 40 %	29 % unter 60 %		
Anteile der Auto-bahnfahrten	24 % unter 20 %	35 % unter 40 %	24 % unter 60 %	16 % unter 80 %	
Anstrengung bei Nachtfahrten	8 % sehr wenig	37 % wenig	39 % mittel	16 % stark	
Erfahrung mit Fahrerassistenz-sytemen	3 % sehr gering	18 % gering	32 % mittel	39 % hoch	8 % sehr hoch

Die Ausplanung des Versuchs erfolgte in einem Messwiederholungs-design. Jeder Versuchsteilnehmer erlebte alle unabhängigen Variab-len in drei Blöcken. Die Studie wurde in randomisierter Reihenfolge durchgeführt. Das Versuchsdesign ist in Tabelle 4.21 dargestellt.

Tabelle 4.21: Versuchsdesign Studie D

		Hindernis (3 Stufen, within)	
		links	rechts
Fahrerassistenzsystem (3 Stufen, within)	Funktionale ambiente Beleuchtung		
	Night Vision		
	kein Fahrerassistenzsystem, Baseline		

Ein Block innerhalb des Fahrerassistenzsystems beinhaltete drei Runden über die gesamte Versuchsstrecke. Die Strecke bestand aus sechs gleichlangen Geraden. Innerhalb dieser sechs Geraden ist das Target (Hindernis) zwei Mal randomisiert präsentiert worden, jeweils einmal links und rechts der Geraden. Der Proband erlebte zehn Distraktionen und zwei Hindernisse innerhalb eines Blocks. Distraktoren waren Fahrten ohne Hindernis. Die nachfolgende Tabelle beschreibt in einem beispielhaften Ablauf die Aufteilung der Distraktoren.

Tabelle 4.22: Verteilung der Targets und der Distraktoren über die Fahrt mit einem Fahrerassistenzsystem

	Runde 1		Runde 2		Runde 3	
Position Reh 1	Links oder Rechts	Dis-traktor	Dis-traktor	Dis-traktor	Dis-traktor	Dis-traktor
Position Reh 2	Links oder Rechts	Dis-traktor	Dis-traktor	Dis-traktor	Dis-traktor	Dis-traktor

Die Teststrecke besaß eine Läge von circa 3,8 km, bestehend aus einer zweispurig markierten Landstraße. Der Start- und Endpunkt der Testfahrt befand sich innerhalb des Ovals. Das Versuchsfahrzeug hat sich während der Untersuchungszeitpunkte immer auf der rechten der beiden Fahrspuren der Geraden befunden. Die Probanden waren angewiesen, eine Zielgeschwindigkeit von 70 km/h auf den Geraden zu fahren. Das folgende Symbolbild veranschaulicht das Testszenario mit beiden Positionen des Targets, siehe Abbildung 4.43.

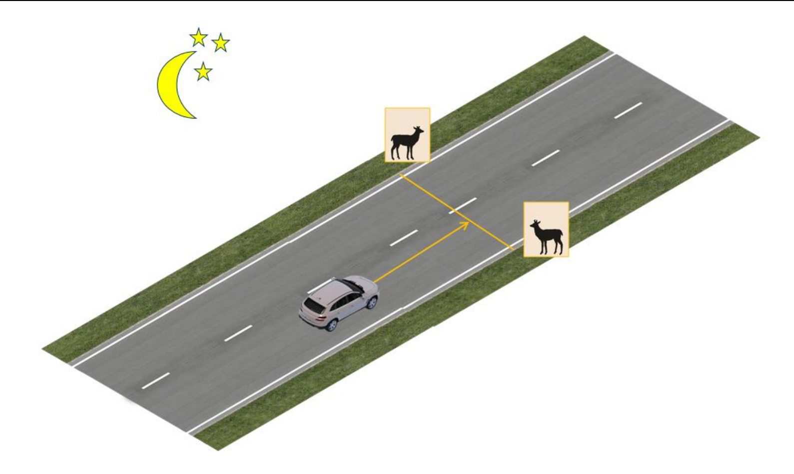


Abbildung 4.43: Testszenario mit beiden möglichen Positionen des Targets links und rechts, der zeitliche Abstand von Fahrzeug bis zur gelbe Linie auf der Fahrbahn beschreibt die TTC Zeit des Serienassistenzsystems

Der Versuch startete mit einer ersten Instruktion zur Strecke sowie zum Eye-Tracking System und einer Runde als Eingewöhnungsfahrt. Danach erfolgte die Instruktion in die Nebenaufgabe und eine zweite Runde als Eingewöhnungsfahrt. Auf der zweiten Geraden dieser Runde wurde den Probanden unvorbereitet die Innenraumlichtfunktion und das Hindernis präsentiert. Nach dieser Begegnung sind folgende subjektive Fragen gestellt worden:

1. Ist Ihnen während der Fahrt etwas aufgefallen?

□ Nein □ Ja, Hindernis □ Ja, Hindernis & Hinweis

2. Falls Nein in Frage 1: Haben Sie einen Hinweis wahrgenommen?

□ Ja □ Nein

3. Falls Ja in Frage 2: Welche Bedeutung hatte Ihrer Meinung nach der Hinweis?

□ Warnung □ Assistenzsystem

Nach den beiden Eingewöhnungsrunden erfolgte die weitere Instruktion in die Assistenzsysteme und den genauen Versuchsablauf. Jeder später wahrgenommenen Begegnung mit dem Hindernis folgte ein subjektiver Fragebogen, welcher von den Probanden unmittelbar nach dem Hindernis ausgefüllt wurde. Dieser beinhaltete folgende Fragen:

1. Wie kritisch schätzen Sie die eben erlebte Begegnung mit dem Hindernis ein?

gar nicht			etwas			durch-schnittlich			stark			sehr stark		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

2. Haben Sie einen Hinweis des Assistenzsystems wahrgenommen?

□ Ja □ Nein

3. Falls Ja: Es fiel mir leicht, den Hinweis des Assistenzsystems wahrzunehmen.

lehne stark ab			lehne ab			unent-schieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

4. Falls Ja: Durch den Hinweis des Assistenzsystems wurde meine Aufmerksamkeit schnell auf das Hindernis gelenkt.

lehne stark ab			lehne ab			unent-schieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

5. Falls Ja: Durch den Hinweis des Assistenzsystems wurde meine Aufmerksamkeit vom Hindernis abgelenkt.

lehne stark ab			lehne ab			unent-schieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Abschließend folgte nach jedem Block der beiden Assistenzsysteme und dem Block mit der Baseline ein weiterer subjektiver Fragebogen. Dieser fragte die Beanspruchung und die allgemeine Müdigkeit der Probanden ab. Die mentale und visuelle Beanspruchung bewerteten die Probanden mit dem DALI Fragebogen. Eine Bewertung der Akzeptanz erfolgte über den Van der Laan Fragebogen. Der Fragebogen ist in Anhang B.4.1 dargestellt.

Nach dem Ende der letzten Versuchsfahrt wurde ein Abschlussinterview durchgeführt. Hierbei bildeten die Probanden Rangfolgen und antworteten auf offene Fragen. Das Interview ist in Anhang B.4.1 dargestellt.

Im Anschluss folgten noch Fragen zum allgemeinen Versuchsablauf. Der Versuchsleiterfaden und das Teilnehmerprotokoll sind in Anhang B.4.2 zu finden.

4.4.6 DURCHFÜHRUNG

In dieser Realfahrt sind 39 Probanden getestet worden. Die Versuchsdauer betrug pro Proband 2:15 Stunden. Die Studie wurde an 14 Versuchstagen mit jeweils drei Probanden durchgeführt. Nach der Unterzeichnung der Einverständniserklärung für Video- und Tonaufnahmen während des Versuches stellten sich die Teilnehmer im Versuchsfahrzeug Sitz, Lenkrad und Spiegel passend ein. Das Fahrzeug war ab dem Zeitpunkt des ersten Fragebogens abgedunkelt, was bedeutet, dass kein zusätzliches Innenraumlicht genutzt worden ist. Die Probanden konnten sich so an die Dunkelheit adaptieren. Ein erster Fragebogen zur Erfassung der demografischen Daten folgte auf einem abgedunkelten Tablet. Im nächsten Schritt erfolgte die Instruktion und Kalibrierung des Eyetracking Systems durch die Versuchsleitung von der Rückbank des Fahrzeugs aus. Nach erfolgreichem Testen des Eyetracking Systems folgten zwei getrennte Eingewöhnungsfahrten, eine ohne und eine mit der Nebenaufgabe.

Die Probanden wurden jeweils im Vorfeld der Runden durch die Versuchsleitung instruiert. Die erste Runde der Eingewöhnungsfahrt bestand nur aus von der Versuchsleitung angewiesenen Spurwechseln. Die Instruktion in die Nebenaufgabe der inhaltlich sinnvollen und sinnfreien Sätze folgte sowie die Präsentation eines Beispielsatzes. Die Probanden wurden angewiesen, eine zweite Runde zu fahren, um sich mit der Nebenaufgabe vertraut zu machen. Die Nebenaufgabe musste jeweils auf den Geraden der Versuchsstrecke absolviert werden.

Auf der zweiten Geraden der zweiten Eingewöhnungsfahrt ist den Probanden das Hindernis am Straßenrand unvorbereitet präsentiert worden, wobei mit der erweiterten Funktion in der ambienten Beleuchtung auf das Reh hingewiesen wurde. Die Probanden füllten einen ersten Fragebogen zum intuitiven Verständnis der gesehenen Lichtfunktion am Startpunkt aus.

Im Anschluss unterwies die Versuchsleitung die Probanden in den Versuchsablauf und die zu testenden Fahrerassistenzsysteme. In der späteren Versuchsfahrt signalisierten die Probanden der Versuchsleitung das Erkennen eines Hindernisses auf der Straße mit dem Drücken einer Taste am Lenkrad. Die Probanden bekamen keine Einweisung in die genaue Position und Anzahl der Hindernisse, die sie während der Versuchsfahrt präsentiert bekamen. Nach der Eingewöhnungsfahrt wurde nur instruiert, dass sich Targets neben der Fahrbahn befinden können, die Probanden die Nebenaufgabe gewissenhaft bearbeiten sollten und das sichere Fahren des Fahrzeugs oberste Priorität hat.

Die Teilnehmer absolvierten im Anschluss die Versuchsfahrten randomisiert und aufgeteilt in die zwei Fahrerassistenzsysteme und eine Baseline. Zusätzlich wurde innerhalb der Systeme die Reihenfolge ebenfalls randomisiert. Nach jedem Hindernis stoppte das Fahrzeug in der nachfolgenden Kurve, diese beiden Positionen sind von den Geraden nicht einsehbar. Das Target ist in dieser Zeit an die neue Position transportiert worden. Die Probanden füllten bei erkanntem Hindernis in der Zwischenzeit einen subjektiven Fragebogen zum eben erlebten Szenario aus. Mit dem Beenden des Fragebogens und der neuen Systemeinstellung im Versuchsfahrzeug folgte die Weiterfahrt der Probanden auf der Versuchsstrecke. Nach Abschluss von drei Runden mit einem System füllten die Probanden einen weiteren subjektiven Fragebogen am Startpunkt aus und setzten danach den Versuch mit dem nächsten System fort. Zum Ende der Studie absolvierten die Teilnehmer ein Abschlussinterview mit Fragen zur funktionalen ambienten Beleuchtung und dem Bilden von Rangreihen zwischen den Assistenzsystemen.

In Anhang B.4.2 befindet sich der detaillierte Versuchsleiterbogen mit der gesamten Instruktion und dem zeitlichen Ablauf.

4.4.7 ANALYSE DER DATEN

Alle unabhängigen Variablen (UV) aus dem Versuch sind in der folgenden Tabelle 4.23 zusammengefasst und die abhängigen Variablen (AV) sind in Tabelle 4.24 beschrieben.

Tabelle 4.23: Unabhängige Variablen (UV) aus Studie D

Name der UV	Ausprägung	Niveau
Fahrerassistenzsystem	Night Vision Assistent, ambiente Beleuchtung, Baseline	kategorial
Position der Gefahr	links, rechts	kategorial
Alter	20 - 57	stetig
Geschlecht	w, m	kategorial

Tabelle 4.24: Abhängige Variablen (AV) aus Studie D

Name der AV	Ausprägung	Niveau
Fahrverhalten	Loggingdaten, verschieden	stetig
Blickverhalten	Verweildauer in ms	stetig
Subjektive Beurteilung	Fragebogen Antworten, verschieden	stetig

Die am Beginn der Datenanalyse stehende Bereinigung der Daten erfolgte sowohl für die Fahrverhaltensdaten als auch für die subjektiven Daten.

In den Loggingdaten des Versuchsfahrzeuges sind viele fehlende Werte aufgefallen. Das Betätigen der Lenkradtaste durch die Probanden wurde über die Versuchsdauer nicht zuverlässig aufgezeichnet. In der Datenaufbereitung ist mithilfe einer zweiten Datenquelle, den synchronen Videodaten aus dem Eyetracking, der Versuch unternommen worden, alle Zeitpunkte der Tastenbetätigung zu rekonstruieren. Nach der vollständigen Rekonstruktion sind die

Datenpunkte des vorhandenen Loggings aus dem ADTF Programm des Fahrzeugs mit den Videodaten abgeglichen worden. Die vollständige Rekonstruktion der Datensätze war nicht möglich, da viele Fälle mit fehlenden Werten sowohl in den Videos, als auch in den ADTF Daten vorliegen. Die Ausschlusskriterien sind Grund dafür, dass kein vollständiger Datensatz vorhanden war. Die Kriterien für den Ausschluss waren mehrfaches Fehlauslösen des Systems, unvollständiges Logging und Videomaterial oder der verfrühte Tastendruck durch den Probanden schon bei der Warnung und nicht erst beim Erkennen des Hindernisses neben der Fahrbahn. Ein Durchführen einer Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen war so unmöglich. Durch die schlechte Datenlage der Fahrverhaltensdaten musste ebenfalls auf eine Mehrebenenanalyse verzichtet werden.

Die Datenanalyse beschränkt sich damit auf die subjektiv aufgenommenen Daten und die Eyetracking Daten des Versuchs.

Für die Datenaufbereitung der subjektiven Daten wurden folgende Voraussetzungen aufgestellt: Die Versuchsperson muss jede Systemausprägung einmal auf beiden Straßenseiten erlebt haben, um diese angemessen beurteilen zu können. Ausschlusskriterien für Probanden war eine Fehlauslösung des Systems, außer in der Baseline, wo eine Fehlauslösung für die Probanden nicht sichtbar war. Die Stichprobe betrug somit für die weitere Analyse der subjektiven Daten $n = 35$. Damit war die Annahme der Normalverteilung gegeben und parametrische Analysen möglich.

Zum Ende der zweiten Eingewöhnungsfahrt sind die Probanden nach dem intuitiven Verständnis der Lichtfunktion der funktionalen

ambienten Beleuchtung gefragt worden. 12 von 35 Versuchspersonen haben auf die Frage, ob sie etwas wahrgenommen haben, mit einer Lichtänderung in der Ambientebeleuchtung geantwortet. Weitere 11 Probanden haben die Lichtänderung auf Nachfrage, ob sie einen Hinweis wahrgenommen haben, gesehen. Die Lichtänderungen haben nach den beiden Fragen 23 von 35 Versuchspersonen wahrgenommen. 12 Probanden ist ein Blinken aufgefallen, 8 Probanden berichteten von der Wahrnehmung der LED Leiste und 3 Probanden haben die Lichtänderung rechts bemerkt. Im Interview ist ebenfalls nach der beabsichtigten Funktion der Lichtänderung gefragt worden. 15 Versuchspersonen interpretierten die Lichtänderung als Hinweis, 4 als Hindernis auf der rechten Seite und 4 Probanden haben der Lichtänderung eine aufmerksamkeitslenkende Funktion zugeschrieben. 3 Probanden konnten nach der einmaligen Darbietung spontan alle 3 Bedeutungen der Lichtfunktion nennen.

Für die Analyse der Kritikalität der Situation, welche auf einer 15 stufigen Skala bewertet wurde, ist eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt und ein signifikanter Unterschied $F(3.84,115.40) = 3.47$, $p = .011$ festgestellt worden, siehe Tabelle 4.25.

Tabelle 4.25: Deskriptive Analyse, Kritikalität der Situation

	M	SD	N
Kritikalität ambiente Beleuchtung links	7,71	3,968	31
Kritikalität ambiente Beleuchtung rechts	7,77	4,137	31
Kritikalität Night Vision links	8,48	3,820	31
Kritikalität Night Vision rechts	8,26	4,058	31
Kritikalität Baseline links	9,32	4,182	31
Kritikalität Baseline rechts	9,23	3,685	31

Durch den Post Hoc Test mit Bonferroni-Korrektur zeigte sich die Signifikanz für die ambiente Beleuchtung rechts versus der Baseline links.

Der Fragebogen enthielt vier weitere Fragen. Die Frage, ob die Probanden einen Hinweis vom Fahrerassistenzsystem wahrgenommen haben wurde, wie in folgender Tabelle 4.26 dargestellt, beantwortet.

Tabelle 4.26: Deskriptive Analyse, Wahrnehmung des Hinweises des Fahrerassistenzsystems

System	Anzahl Teilnehmer	Anzahl Hinweis gesehen	Anzahl Hindernis nicht gesehen
ambiente Beleuchtung links	34	34	1
ambiente Beleuchtung rechts	34	32	1
Night Vision links	34	34	1
Night Vision rechts	33	33	2

Bei der nächsten Frage nach der Leichtigkeit der Wahrnehmung des Assistenzsystems ist keine Signifikanz festgestellt worden $F(2.10,60.79) = 0.31$, $p = .746$. Im Fragebogen folgte folgende Frage: „Durch den Hinweis des Assistenzsystems wurde meine Aufmerksamkeit schnell auf das Hindernis gelenkt.“ Hierbei ist ebenfalls keine Signifikanz aufgetreten $F(3,87) = 0.49$, $p = .688$. Die letzte Frage, welche den Versuchspersonen beim Wahrnehmen des Hinweises gestellt worden ist, war: „Durch den Hinweis des Assistenzsystems wurde meine Aufmerksamkeit vom Hindernis abgelenkt.“ Auch diese Frage brachte keine signifikanten subjektiven Unterschiede zwischen den Systemen hervor, $F(1.87,54.31) = 2.51$, $p = .094$.

Die Datenaufbereitung für den nach einem Systemblock folgenden Akzeptanztest ist wie folgt durchgeführt worden. Die ersten vier Skalen sind von +2 bis -2 umcodiert worden und die Items schlecht-gut, ärgerlich-erfreulich, nicht wünschenswert-wünschenswert mussten invertiert werden. Die Nützlichkeitsskala ist das Mittel der Items 1, 3, 5, 7, 9 und die Zufriedenheitsskala ist das Mittel aus den Items 2, 4, 6, 8. Die Analyse erfolgte mit einem hierarchisch linearen Modell. In der folgende Tabelle 4.27 sind die Daten der Analyse dargestellt.

Tabelle 4.27: Deskriptive Analyse, Akzeptanztest (van der Laan)

	M	SD	N
Kennwert Nützlichkeit			
System ambiente Beleuchtung	1.36	0.66	35
System Night Vision	1.31	0.66	34
Kennwert Zufriedenheit			
System ambiente Beleuchtung	1.34	0.64	35
System Night Vision	0.9	0.72	34

In der Nützlichkeit wurde keine Signifikanz zwischen den Systemen gefunden $x^2(1) = 0.17$, $p = .683$. In der Zufriedenheit ergab sich eine Signifikanz zwischen den Systemen $x^2(1) = 7.68$, $p = .006$. Siehe folgende Tabelle 4.27 für die Daten der Analyse.

Der Fragebogen zur Beanspruchung nach dem Systemblock ist ebenfalls aufbereitet worden. Die Rohdaten aller Skalen 0 – 5 wurden mit 20 multipliziert. Die Werte können somit als prozentuale Beanspruchung interpretiert werden. Der globale Beanspruchungsscore ergibt sich aus den einzelnen Skalen. Zwei Versuchspersonen fallen in diesem Test raus, da sie nicht alle Fragebögen beantwortet haben. Damit ergibt sich in diesem Test n = 33.

Tabelle 4.28: Deskriptive Analyse, Beanspruchungstest (DALI), n = 33

	global ambiente Beleuchtung	global Night Vision	global Baseline
Mittelwert	30.91	43.74	40.91
Standardfehler des Mittelwertes	2.89	3.23	3.49
Standardabweichung	16.61	18.54	20.07

Die einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergibt für die globalen Variablen des DALI Tests eine Signifikanz $F(2,64) = 8.32$, $p = .001$.

Tabelle 4.29: Post Hoc Test mit Bonferroni-Korrektur, Beanspruchungstest (DALI), n = 33

	Mittlere Differenz	Standardfehler	Signifikanz
ambiente Beleuchtung / Night Vision	-12.83	3.65	.004
ambiente Beleuchtung / Baseline	-10.00	3.11	.009
Night Vision / Baseline	2.83	3.12	1.00

Die Datenerhebung endete mit einem Abschlussinterview. Dabei sind von den Versuchspersonen drei Rangfolgen aufgestellt worden, welche in den drei Abbildung 4.44 bis Abbildung 4.46 deskriptiv beschrieben werden.

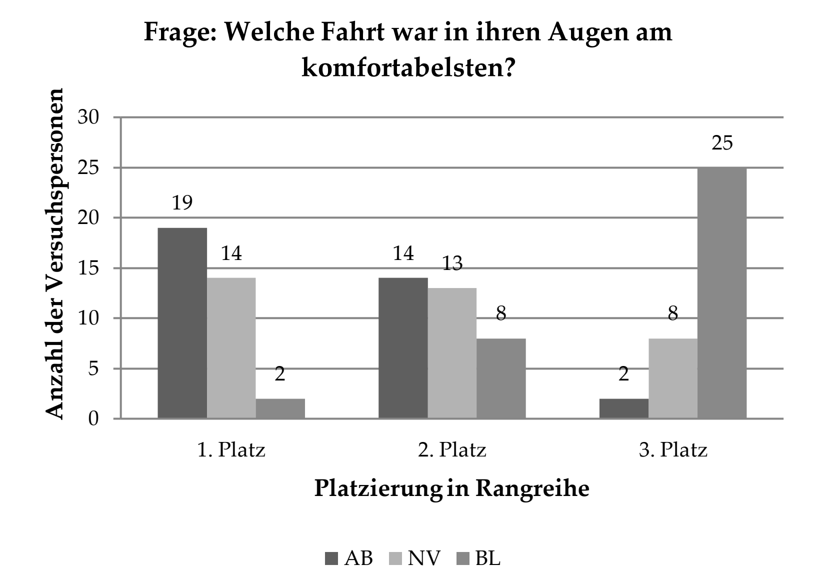


Abbildung 4.44: Deskriptive Statistik zur Frage nach der komfortabelsten Fahrt im Abschlussinterview, AB = ambiente Beleuchtung, NV = Night Vision, BL = Baseline



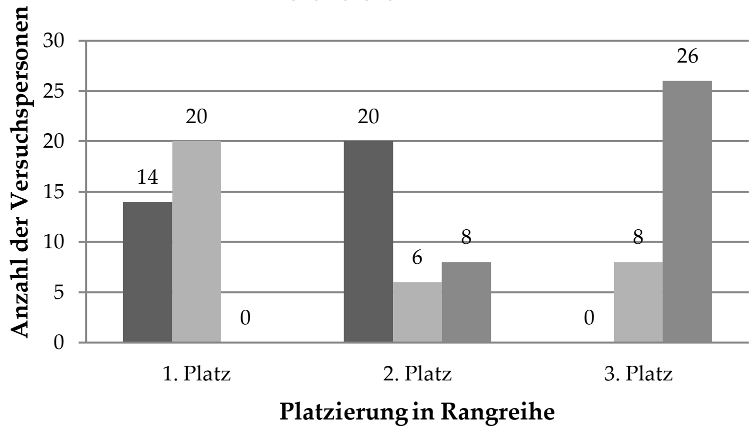


Abbildung 4.45: Deskriptive Statistik zur Frage nach der sichersten Fahrt im Abschlussinterview, AB = ambiente Beleuchtung, NV = Night Vision, BL = Baseline



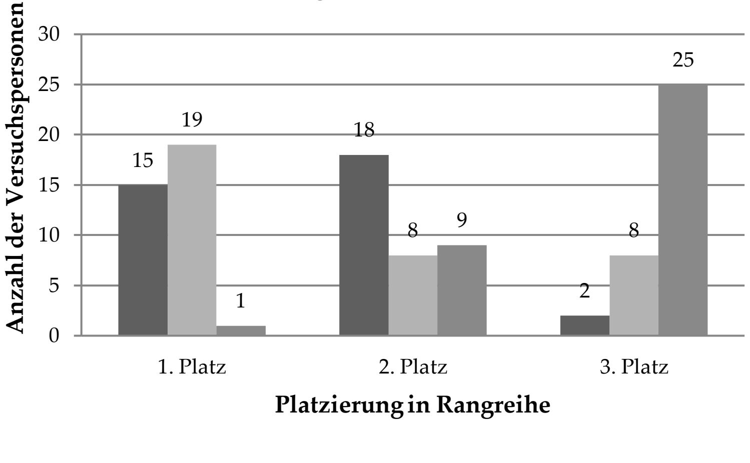


Abbildung 4.46: Deskriptive Statistik zur Frage nach der insgesamt besten Fahrt im Abschlussinterview, AB = ambiente Beleuchtung, NV = Night Vision, BL = Baseline

Im Interview wurde ein Vergleich zwischen der Aufmerksamkeitslenkung auf das Hindernis der ambienten Beleuchtung und des Night Vision Assistenten erfragt. 43 % der Probanden antworteten mit der besseren Aufmerksamkeitslenkung der ambienten Beleuchtung, 48 % mit der besseren Aufmerksamkeitslenkung des Night Vision Assistenten, 3 % mit gleicher Aufmerksamkeitslenkung und 6 % wollten sich nicht festlegen. Sie antworteten, die Erkennung, dass ein Hindernis vorhanden ist, ist mit Night Vision Assistent durch den Warnton besser. Die Verortung des Hindernisses ist allerdings bei der ambienten Beleuchtung besser.

Die folgenden Analysen im Interview befassten sich ausschließlich mit der Bewertung der ambienten Beleuchtung. Mehrfachnennungen waren bei diesen Fragen möglich. Die Analyse der Daten ist in Abbildung 4.47 bis Abbildung 4.51dargestellt.

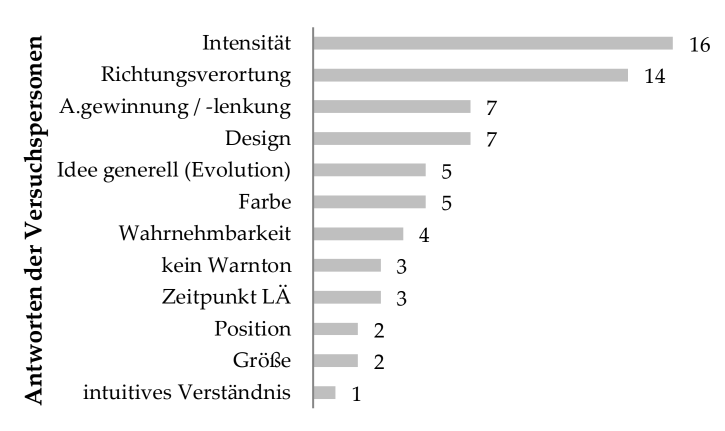


Abbildung 4.47: Deskriptive Statistik zur Frage: "Was gefällt ihnen an der erweiterten Funktion der ambienten Beleuchtung?", LÄ = Lichtänderung



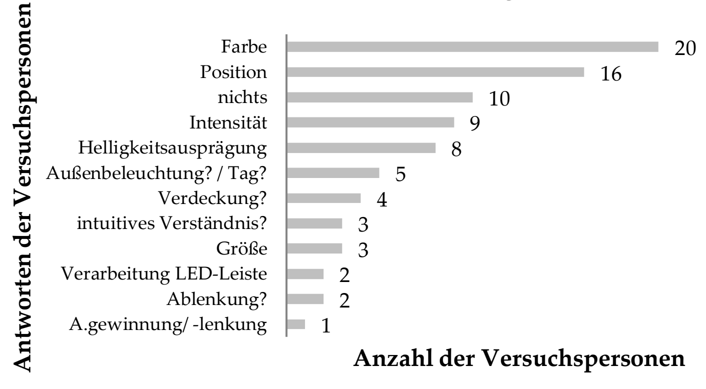


Abbildung 4.48: Deskriptive Statistik zur Frage: "Was stört sie an der erweiterten Funktion der ambienten Beleuchtung?"

Verbesserungsvorschläge der ambienten Beleuchtung in Bezug auf Gestaltung

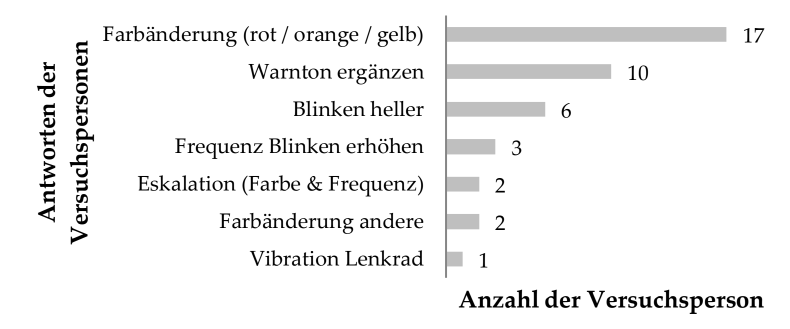


Abbildung 4.49: Deskriptive Statistik zu Verbesserungsvorschlägen zur Gestaltung der ambienten Beleuchtung

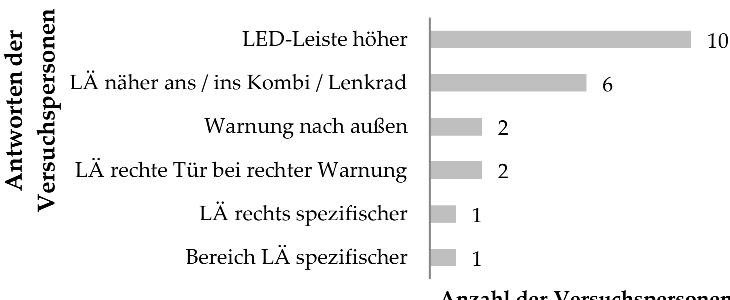


Abbildung 4.50: Deskriptive Statistik zu Verbesserungsvorschlägen zur Position der ambienten Beleuchtung, LÄ = Lichtänderung

Die anschließende Frage befasste sich mit dem Zeitpunkt der dargestellten Warnung. 60 % der Probanden geben an, dass der Zeitpunkt für sie genau richtig ist. 8 % der Versuchspersonen antworteten mit „links ist der Zeitpunkt richtig", aber „rechts kommt die Warnung zu spät". 29 % der Probanden geben an, dass ihnen der Zeitpunkt der Lichtänderung zu spät ist und 3 % der Probanden ist der Zeitpunkt zu früh.

Die nächste Frage bezog sich auf die Verwendung einer im Fahrzeug verbauten funktionalen ambienten Beleuchtung. 83 % der Probanden antworteten, dass sie die Funktion verwenden würden, wobei 11 % der Versuchspersonen mit einem bedingten Ja und 6 % der Probanden mit einem Nein antworteten. Die abschließende Fragestellung richtete sich nach der abschließenden Bewertung der funktionalen

ambienten Beleuchtung und ist von den Probanden auf einer 15 stufigen Skala bewertet worden. Die Antworten sind in der folgenden Abbildung 4.51 dargestellt.

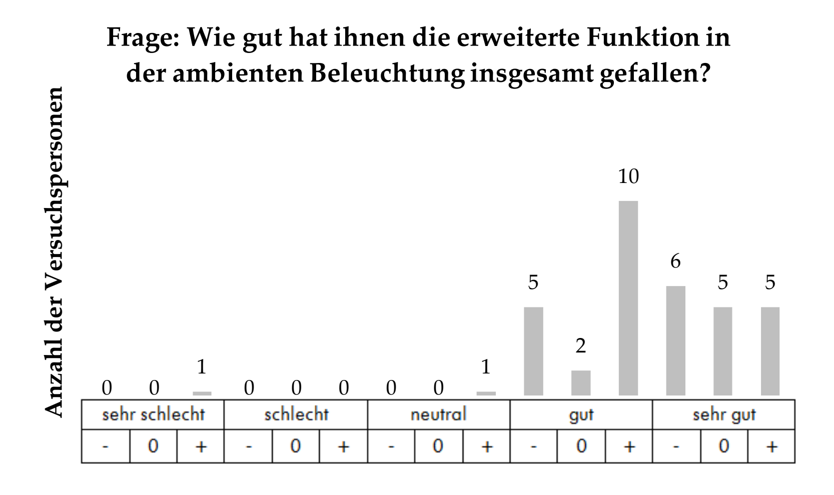


Abbildung 4.51: Deskriptive Statistik zur allgemeinen Bewertung der ambienten Beleuchtung

Die Analyse der Blickdaten begann mit der Aufbereitung der Aufzeichnungen im Programm D-LAB 3. Für die Auswertung ist ein Zeitraum von 15 Sekunden um den Auslösezeitpunkt des jeweiligen Fahrerassistenzsystems aufbereitet und extrahiert worden. Dieser Zeitraum begann 10 Sekunden vor dem Auslösen des Systems und endete demzufolge 5 Sekunden nach der Systemmeldung. In der Aufbereitung sind in den Aufzeichnungen zwei AOIs definiert worden. Eine auf dem Fahrerinformationsdisplay hinter dem Lenkrad und ein Bereich der Windschutzscheibe. Mithilfe der Blickdaten und

der definierten Auswertungsbereiche ist die Blickablenkung von der Straße auf das Fahrerinformationsdisplay untersucht worden.

Das Ergebnis der Datenanalyse ergab eine prozentuale Aufteilung der Blickdaten auf den Bereich Windschutzscheibe, den Bereich Fahrerinformationsdisplay und die übrigen Bereiche. In der Analyse wurden nur die beiden definierten AOI Bereiche betrachtet. In die Berechnung sind 37 Probanden eingeschlossen worden. Aufgrund eines technischen Ausfalls der Datenaufzeichnung mussten zwei Probanden von der Analyse ausgeschlossen werden. Die Analysen sind mit einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen berechnet worden.

Die deskriptive Analyse der Blickdaten ist nachfolgend in Tabelle 4.30 dargestellt.

Tabelle 4.30: Deskriptive Analyse, Blickdaten aufgeteilt auf AOIs und Fahrerassistenzsystem und Baseline in %

	Fahrerassistenzsystem	M	SD
AOI Fahrerinformations-display	Baseline	4.41	3.54
	ambiente Beleuchtung	4.86	3.26
	Night Vision	8.53	6.25
AOI Scheibe	Baseline	60.47	27.02
	ambiente Beleuchtung	59.55	24.02
	Night Vison	52.78	26.23

Für einen besseren Überblick über die Datenlage wurden Boxplots für beide AOIs erstellt. Die Grafiken stellen den Prozentsatz der Bli-

cke auf die jeweilige AOI, aufgeteilt nach den beiden Fahrerassistenzsystemen und der Baseline, dar. In Abbildung 4.52 sind die Prozentsätze der Blicke auf die AOI Fahrerinformationsdisplay dargestellt.

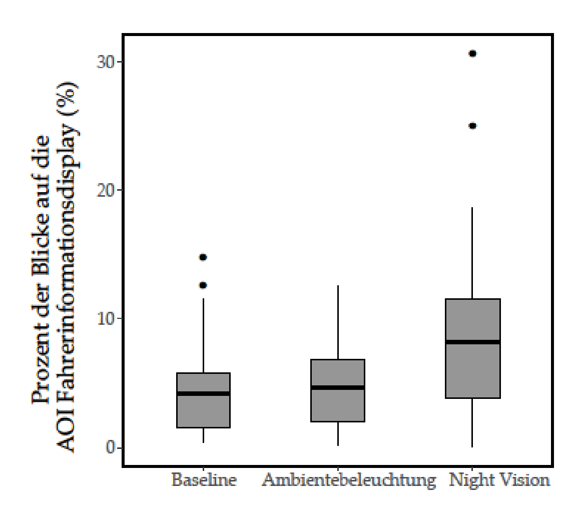


Abbildung 4.52: Boxplot der Prozente der Blickdaten auf die AOI Fahrerinformationsdisplay aufgeteilt nach den Fahrerassistenzsystemen

In Abbildung 4.53 sind die Prozentsätze der Blicke auf die AOI Scheibe dargestellt.

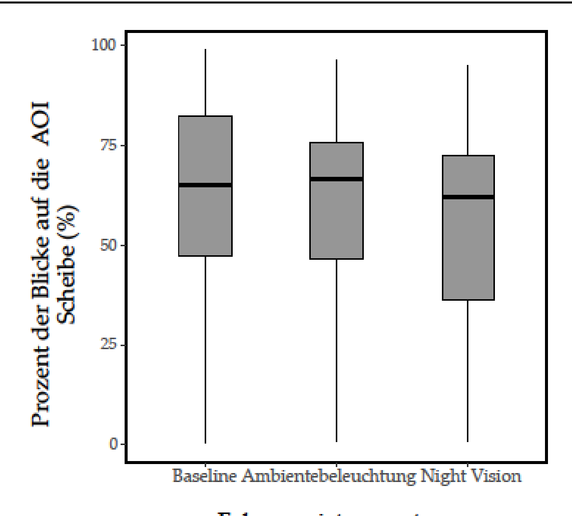


Abbildung 4.53: Boxplot der Prozente der Blickdaten auf die AOI Scheibe aufgeteilt nach den Fahrerassistenzsystemen

Für die AOI Fahrerinformationsdisplay mit n = 34 ergab sich ein Haupteffekt der Gruppen zueinander, $F(4,6) = 17.58$, $p < .001$. Der Post Hoc Test nach Bonferroni-Korrektur zeigte einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen System ambiente Beleuchtung und Night Vision ($p \leq .001$) und zwischen der Gruppe Baseline und der Gruppe System Night Vision ($p < .001$). Die aufgestellte Nullhypothese konnte damit widerlegt werden und die Alternativhypothese wurde angenommen. Der Prozentsatz der Blicke auf das Fahrerinformationsdisplay unterschied sich zwischen den beiden Fahrerassistenzsystemen.

Zwischen der Gruppe Baseline und der Gruppe System ambiente Beleuchtung ergab sich kein signifikanter Unterschied ($p = 1$).

Für die AOI Scheibe mit n = 36 ergab sich kein Haupteffekt der Gruppen zueinander, $F(4,6) = 4.96$, $p = .084$.

4.4.8 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

4.4.8.1 BLICKDATEN

Das folgende Kapitel interpretiert die Daten der statistischen Analyse. Die Beobachtung der Probanden mit der Eye-Tracking Kamera erfasste die Blickrichtung der Fahrer im Testsetting. Es ist die prozentuale Verteilung der Blickrichtung in einem Zeitraum von 15 Sekunden um den Warnzeitpunkt ausgewertet worden. Für die Auswertung der Untersuchung war interessant, ob die Probanden durch die Lichtfunktion der funktionalen ambienten Beleuchtung in ihrem Blick abgelenkt werden. Das zu vergleichende Seriensystem Night Vision zeigte das Videobild der Straße im Fahrerinformationsdisplay an. Die zu vergleichende Baseline stellte ein Fahrzeug ohne Fahrerassistenzsystem dar. Die Blickdaten zeigten in der Datenanalyse signifikante Unterschiede der Gruppen für die Blicke auf die AOI Fahrerinformationsdisplay. Die Teilnehmer schauten mit dem System Night Vision mehr in das Display vor dem Fahrer als mit dem System ambiente Beleuchtung. Die gleiche Beobachtung ließ sich gegenüber der Baseline Fahrt ohne System aus der Datenanalyse ablesen. Daraus ließ sich interpretieren, dass ein Fahrer eines Fahrzeugs, welches mit der funktionalen ambienten Beleuchtung ausgestattet

war, genauso wenig Blickzeit auf das Display legte, wie ein Fahrer eines Fahrzeugs ohne Fahrerassistenzsystem.

Für die AOI Scheibe wurde in der Analyse kein signifikanter Effekt gefunden. Darauf folgt, dass die Blickablenkung der neuen Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung nicht größer als keine abgegebene Warnung und auch nicht größer als beim System Night Vision war.

4.4.8.2 SUBJEKTIVE FRAGEBÖGEN

Nach der Eingewöhnungsfahrt haben 66 % der Probanden auf Nachfrage die Lichtänderung in der ambienten Beleuchtung wahrgenommen. Eine bessere subjektive Wahrnehmung der Lichtänderung lässt sich aus den Verbesserungsvorschlägen herauslesen. Hier gaben 17 Probanden eine andere Farbe und 10 Probanden eine Ergänzung mit einem Warnton, wie bei der Serienfunktion Night Vision, als Verbesserungen an.

Alle Probanden, welche die Lichtänderung wahrgenommen haben, haben diese auch als „Hinweis“, „Hindernis rechts“ oder zur „Aufmerksamkeitslenkung“ richtig verstanden. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass sofern der Hinweis wahrgenommen wurde, dieser auch wie beabsichtigt verstanden wird.

In der Bewertung nach der Kritikalität der Situation mit Hindernis und Fahrerassistenzsystem hat die funktionale ambiente Beleuch-

tung signifikant besser als die Baseline abgeschnitten. Auch deskriptiv lässt sich der Trend nach der positiveren Bewertung der ambienten Beleuchtung gegenüber Baseline und Night Vision erkennen. Die immer gleiche Gefahrensituation wird mit der funktionalen ambienten Beleuchtung von den Probanden weniger kritisch bewertet.

In der Bewertung nach der Nützlichkeit der beiden verglichenen Fahrerassistenzsysteme gab es keinen Unterschied. In der Bewertung der Probanden nach der Zufriedenheit hat die funktionale ambiente Beleuchtung eine signifikant bessere Bewertung gegenüber dem Seriensystems Night Vision erhalten.

Der Test der Beanspruchung (DALI) ergab eine signifikant geringere Beanspruchung der Probanden bei Fahrten mit dem System der funktionalen ambienten Beleuchtung gegenüber denen mit Night Vision Assistenten und Baseline. Die Lichtfunktion der ambienten Beleuchtung konnte sich in diesem subjektiven Test mit einer für die Probanden geringeren Beanspruchung durchsetzen.

In den im Interview abgefragten Rangreihen stand die ambiente Beleuchtung bei der Frage nach der komfortabelsten Fahrt auf Platz 1 der Versuchsteilnehmer. In der Rangreihe der sichersten und der insgesamt besten Fahrt stand die ambiente Beleuchtung auf Platz 2 der Probanden. In diesen beiden Kategorien stand das umgesetzte Fahrerassistenzsystem Night Vision auf Platz 1 der Probanden. Hier lässt sich das Potential der ambienten Beleuchtung aus den Verbesserungswünschen der Teilnehmer ableiten. Denkbar wäre zum Beispiel

die Erweiterung der Lichtfunktion mit einem Warnton zu einem multimodalen System, wobei hier das intuitive Verständnis und die Reaktion der Fahrer auf einen Ton überprüft werden müsste.

Aus den weiteren Antworten des Interviews lässt sich die gut funktionierende räumliche Ortung bei der Warnung mit der ambienten Beleuchtung ableiten. Es lässt sich erkennen, dass der Warnzeitpunkt für 60 % der Teilnehmer richtig ist. Hier ist ein Potential in der weiteren Ausgestaltung der funktionalen ambienten Beleuchtung zu finden. Dass 83 % der Probanden die verbaute Funktionalität der ambienten Beleuchtung verwenden würden und der Großteil der Antworten im Bereich „gut" und „sehr gut" bei der Frage nach der zusammenfassenden Bewertung der ambienten Beleuchtung lag, zeigt die hohe Akzeptanz dieser Lichtfunktion als Fahrerassistenzsystem.

4.4.9 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den Ergebnissen der Blickdaten lässt sich schlussfolgern, dass die Lichtfunktion der ambienten Innenraumbeleuchtung keine größere Blickablenkung auf das Display vor dem Fahrer aufweist. Die Ablenkung auf das Fahrerinformationsdisplay ist signifikant geringer als beim System Night Vision.

Eine Verbesserung der Sichtbarkeit der funktionalen ambienten Beleuchtung bei Erstkontakt leitet sich aus den Antworten der Probanden ab. Das Hinzufügen eines Warntons würde die Wahrnehmung bei Erstkontakt verbessern. Eine Farbänderung kann aufgrund der

Ergebnisse aus Studie A nicht in Betracht gezogen werden. Das gute Verständnis der wahrgenommenen Lichtänderungen bei Erstkontakt bestätigt die Wirkungsweise der Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung.

Die Kritikalität der Situation ist bei Fahrten mit der Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung geringer eingeschätzt worden. Auch die hohe Zufriedenheit mit der neuen Lichtfunktion und die geringere Beanspruchung der Probanden zeigen die Notwendigkeit einer solchen Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung. Die funktionale ambiente Beleuchtung präsentierte in dieser Untersuchung das gegebene Potential sehr gut. Nur im subjektiven Empfinden nach der sichersten Fahrt sehen die Probanden noch Potential in der ambienten Beleuchtung. Eine Erweiterung um einen Warnton wird hier als sinnvoll angesehen und kann dann zu einer besseren Rangreihe im Sicherheitsempfinden hinführen. Dieser Warnton ist beim System Night Vision schon vorhanden. Die Probanden verwiesen auf diesen Warnton. Der Warnzeitpunkt des Systems Night Vision ist aktuell nur für 60 % der Versuchsteilnehmer richtig gewählt. Eine Einstellmöglichkeit des Zeitpunktes würde zur individuellen Anpassung beitragen.

Die Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung zeigt in dieser Realfahrt im Vergleich mit einem Night Vision System ein hohes Potential als Fahrerassistenzsystem für Hindernisse nahe der Straße. Die richtungsabhängige Warnung mit ihren peripheren Lichtreizen sollte für diese Art von Warnungen weiter genutzt werden.

Kapitel 5

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

5.1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Arbeit liegt die Motivation zugrunde, einen Beitrag zu leisten, um die hohe Anzahl an nächtlichen Unfällen zu reduzieren und die schwierige nächtliche Wahrnehmung der Außenwelt für den Fahrer zu verbessern. Die Untersuchung hat das Ziel, eine peripher wahrnehmbare, richtungsverortende Anzeigemodalität für Fahrerassistenzsysteme und Informationssysteme zu entwickeln. Der wichtigste Schritt in der Entwicklung ist das Testen mit Probanden im Simulator und in Realfahrt.

Die Grundlage des Lichtsystems bildet die vorhandene ambiente Innenraumbeleuchtung in Fahrzeugen. Lichtfunktionen im Interieur eignen sich sehr gut, um den Blick des Fahrers und somit auch die Aufmerksamkeit des Fahrers schon in der frühen Phase auf eine kritische Verkehrssituation zu lenken. Die Funktion des Lichtsystems ist sowohl in manuell gefahrenen Fahrszenarien als auch in automatisch gefahrenen Fahrszenarien zu untersuchen. Zu den beiden Szenarien entwickeln sich in der Ausgestaltung der Lichtfunktion zwei unterschiedliche Anwendungen, welche im Laufe der Forschungsarbeit auch in Prototypen umgesetzt werden. Die Wahrnehmung und die

Wirksamkeit der aufmerksamkeitslenkenden Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung ist sowohl in Simulatorstudien als auch in einer Realfahrt zu untersuchen.

Zu Beginn der Untersuchungen ist es das Ziel, die Anzahl der möglichen Lichtänderungen zu reduzieren, um später in der Konzeptarbeit die für beide Anwendungsfälle effektivste Lichtänderung zu nutzen. Für Studie A erfolgt ein Aufbau einer Sitzkiste mit einer 180° frei ansteuerbaren ambienten Beleuchtung. In der Probandenstudie mit 38 nach festgelegten Kriterien ausgewählten Teilnehmern werden vier Lichtänderungen unter drei Ablenkungsmodalitäten beurteilt. Als Lichtänderungen sind eine Helligkeitsänderung, eine Farbänderung, ein Lauflicht und ein Blinklicht im Vergleich. Jede Lichtänderung ist an drei verschiedenen Orten sichtbar. Die Nebenaufgabe besteht in einer motorischen, einer kognitiven und einer visuellen Aufgabe während einer simulierten automatischen Autobahnfahrt.

Die Ergebnisse zeigen folgende Erkenntnisse: Die Lichtänderungen unterscheiden sich in ihrer Wahrnehmung. Das Blinklicht erzielt von den Probanden die häufigste Wahrnehmung. Die Reaktionszeiten der Probanden auf die Lichtänderung sind von der durchgeführten Nebenaufgabe unabhängig, wobei die Helligkeitsänderung die geringsten Reaktionszeiten hervorbringt. In der subjektiven Bewertung der Teilnehmer ist das Lauflicht am positivsten. Aus den Resultaten der Studie ergibt sich für die Konzeptarbeit die weitere Nutzung der Lichtänderungen Blinklicht, Lauflicht und die Helligkeitsänderung.

Für die bestmögliche Wahrnehmung der Lichtänderung in nächtlichen Verhältnissen erfolgt in der Studie B die Untersuchung des

Leuchtdichteniveaus. Dabei kommen die Lichtänderungen Helligkeitsänderung, Blinklicht und Lauflicht zum Einsatz. Die Untersuchung ermittelt mithilfe von neun aufsteigenden Leuchtdichtestufen die erste vom Probanden wahrgenommene Leuchtdichte. Die Darstellung der Lichtänderungen erfolgt in drei verschiedenen Längen auf dem mit der Grundleuchtdichte leuchtenden Ambientelichtstreifen.

Als Ergebnis der Untersuchung errechnet sich die kumulierte Wahrnehmungswahrscheinlichkeit von 90 % für jede Lichtänderung und jede Ausdehnung auf dem Ambientelichtstreifen. Aus der Untersuchung schlussfolgert sich, dass die mittlere Ausdehnung auf dem Ambientelicht die effektivste Anzeige darstellt. Des Weiteren ermittelt sich eine Leuchtdichteschwelle für die mittlere Ausdehnung von 13,45 cd/m². Die Leuchtdichteschwellen ergeben bei Blinklicht und Lauflicht geringere Werte als bei der Helligkeitsänderung. Aus Studie A und Studie B lassen sich eine gute Eingrenzung der vielfältigen technisch möglichen Lichtänderungen ableiten und fokussiert mit der Konzeptentwicklung der Lichtfunktion beginnen.

Die Konzeption ergibt eine getrennte Nutzung der Lichtfunktion zwischen dem manuellen und dem automatischen Fahren. Die Lichtfunktion unterstützt im manuellen Fahren Fahrerassistenzsysteme als neue Anzeigemodalität. In den Szenarien des automatischen Fahrens wird die Lichtfunktion zur Vertrauensbildung genutzt.

Die erste Überprüfung der Anwendungsszenarien der ambienten Lichtfunktion erfolgt in Studie C im statischen Fahrsimulator mit 58

Probanden. In der Studie erfolgt in zwei manuell gefahrenen Szenarien und in einem Szenario mit einem automatisch fahrenden Fahrzeug eine Untersuchung von jeweils drei Lichtänderungen. Konzeptionell findet im Szenario des automatisch fahrenden Fahrzeugs nur das Lauflicht Anwendung. Die Ablenkung der Teilnehmer erfolgt mit einer kombinierten visuellen, kognitiven und motorischen Nebenaufgabe. Auf der manuell gefahrenen Strecke wird die Lichtfunktion genutzt, um auf ein stehendes Hindernis auf der Autobahn hinzuweisen und einmal, um auf ein bewegliches Hindernis in der Stadt hinzuweisen. Der Vertrauensaufbau stärkt sich in der automatischen Fahrt über das Lauflicht, welches den umgebenden Verkehr darstellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich im manuellen Fahren durch die Lichtfunktion in der ambienten Beleuchtung tendenziell geringere Reaktionszeiten bei der Wahrnehmung der Hindernisse erreichen lassen. Die Wahrnehmung des Blinklichts ist im manuellen Szenario am häufigsten und wird in der Konzeptentwicklung weiter genutzt. Das Lauflicht unterstützt hier als zusätzliche Anzeige ebenfalls bei sehr peripher liegenden Hindernissen. Das Lauflicht bestätigt im automatisch fahrenden Fahrzeug seine verständliche Funktion des Vertrauensaufbaus. Die Lichtmodalität stellt den umliegenden Verkehr im getesteten Szenario verständlich dar und trägt so zu einem subjektiv empfundenen stärkeren Vertrauen zum automatischen Fahrzeug bei.

Die Durchführung der vierten Untersuchung, der Studie D, ist mit 39 Probanden im Realfahrzeug als Fahrversuch auf der Straße geplant.

Der Vergleich zwischen dem in Serie verfügbaren Fahrerassistenzsystem Night Vision und dem gleichen Grundsystem mit neuer Anzeigemodalität in Form der ambienten Beleuchtung erfolgt im manuellen Fahren. Die Gegenüberstellung fokussiert sich auf die Anzeigevariante der beiden Systeme, einmal das Videobild im Fahrerinformationsdisplay und einmal ein Blinklicht in der funktionalen ambienten Beleuchtung. Die Ablenkung der Probanden zum Warnzeitpunkt des Systems erfolgt mit einer auditiv kognitiven Aufgabe.

Im Rahmen der Auswertung der Blickdaten lässt sich feststellen, dass die Lichtfunktion der ambienten Beleuchtung signifikant weniger ablenkende Blicke auf das Fahrerinformationsdisplay erzeugt als die Anzeige des Night Vision Assistenten. Der Blick der Probanden bleibt mit der neuartigen Lichtfunktion deskriptiv mehr auf der Straße als beim Night Vision Assistenten, wobei hier keine Signifikanz nachgewiesen ist. Die erlebte Situation bewerten die Teilnehmer mit der Lichtfunktion als weniger kritisch und das Verständnis der Anzeige ist vom ersten Erleben an gegeben. Ebenfalls schätzten die Probanden die Fahrt mit der funktionalen ambienten Beleuchtung als weniger beanspruchend ein. Die Lichtfunktion hilft den Probanden weiterhin bei der räumlichen Einschätzung des kommenden Hindernisses und kann somit richtungsverortend wirken.

Die Studien zeigen die zum Teil noch nicht optimale Häufigkeit der Wahrnehmung, aber auch das hohe Potential sowie geeignete Anwendungsszenarien für die aufmerksamkeitslenkende Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung.

5.2 AUSBLICK

Die Resultate aus der durchgeführten Arbeit motivieren zur Fortführung der Forschung im Themenbereich der Funktionalisierung der Innenraumbeleuchtung. Das untersuchte Lichtsystem der durchgängigen ambienten Innenraumbeleuchtung als sichtbare Lichtlinie lässt sich in vielen anderen Anwendungsfällen untersuchen und erweitern. Demnach soll es das weitere Ziel der neuartigen Lichtfunktion sein, einige visuelle Anzeigen von Fahrerassistenzsystemen in diesem peripher gut sichtbaren Lichtband zu vereinen. Ein wichtiger nächster Untersuchungspunkt ist das Anwenden in realen Nachtszenarien mit ortsfester Beleuchtung und das Bestimmen der dort nötigen Leuchtdichten. In diesem Zusammenhang soll in der Forschung auch die Entwicklung der automatischen Anpassung der Leuchtdichte im Innenraum an die Außenbeleuchtungsstärke einfließen.

Im Rahmen der vielfältigen Anwendung des ambienten Innenraumbeleuchtungssystems ist es interessant, das System mit weiteren Fahrerassistenzsystemen zu vergleichen oder zu ergänzen. Wobei ein weiteres Hinzufügen von Funktionen in die ambiente Beleuchtung dann die Frage nach der maximalen Anzahl von Funktionen stellt, ab welcher der Nutzer die Funktionen nicht mehr unterscheiden kann und es so zu einer Überforderung oder Ablenkung kommt.

Eine Möglichkeit der Erweiterung des Systems wäre beispielsweise, mit dem Lichtsystem verstärkt auf andere bewegliche Verkehrsteilnehmer hinzuweisen, etwa wie in der Studie C begonnen. Durch eine mögliche richtungsgebundene Darstellung anderer Verkehrsteilnehmer, welche sich im toten Winkel befinden, könnte es zur früheren

Sichtbarkeit dieser im Spiegel nicht sichtbaren Verkehrsteilnehmer kommen. Die Anzeige könnte eine sinnvolle Ergänzung zur aktuell im Spiegel verorteten visuellen Warnung sein. Durch die gut peripher wahrnehmbare Lichtänderung könnte der Blick des Fahrers direkt auf das im Spiegel nicht sichtbare Objekt von hinten gelenkt werden. Ein zweistufiges System mit einer Frühwarnung in der ambienten Beleuchtung könnte eine sinnvolle Konzepterweiterung darstellen. Eine zusätzliche Blickbewegung über den Spiegel könnte in diesem Fall mit dem direkten Anzeigesystem in der ambienten Beleuchtung entfallen. Eine Erweiterung und ein Vergleich mit den verschiedenen Systemen für Warnungen im toten Winkel stellen interessante Fragestellungen dar.

Die Anwendung der Funktion im automatisch fahrenden Fahrzeug stellt einen großen Funktionsbereich der vertrauensfördernden Anzeigen dar und bedarf einer weiteren Überprüfung im Realfahrzeug. Die Darstellung des umgebenden Verkehrs und die Manöveranzeige des automatischen Fahrzeugs durch die aufgezeigten Lichtänderungen sind ein großes sich ergebendes Forschungsfeld.

Für beide Anwendungsfälle ist es unerlässlich, den multimodalen Ansatz der Warnung in die Konzeptarbeit mit einfließen zu lassen. In dieser Arbeit ist eine gute Basis für die multimodale Weiterentwicklung der Warnung geschaffen worden. Das Hinzufügen einer akustischen Warnung sollte die Anwendung der aufmerksamkeitslenkenden Lichtfunktion in der ambienten Innenraumbeleuchtung weiter verbessern. Diese Annahme bedarf allerdings erst einer weite-

ren Recherche und Grundlagenuntersuchung zu akustischen Warnungen im automobilen Kontext. MAIER [124] beschreibt eine gute Grundlage zum multimodalen Warnbaukasten. Daraufhin könnte das in dieser Arbeit entwickelte Konzept mit einer akustischen Warnung erweitert und müsste erneut untersucht werden.

Die stetige Weiterentwicklung der für Fahrerassistenzsysteme genutzten Sensorik im Fahrzeug ist eine gute Möglichkeit, die Anwendungskonzepte fortzuführen. So ist zum Beispiel die Nutzung der frühzeitigen Lichtwarnung durch noch bessere Sensoren erweiterbar. Eine vielversprechende Technik ist hier die Car2Car oder die Car2X Technologie. Mit dieser werden beispielsweise Fahrzeuge untereinander oder Ampeln mit dem Fahrzeug über Funk verbunden. Dadurch ist es vorstellbar, dass bereits Warnungen für den Fahrer angezeigt werden können, welche von Sensoren eines anderen Fahrzeugs ausgelöst werden, wenn die eigene Fahrzeugsensorik das Hindernis noch gar nicht erkennen kann. Die frühzeitige Warnung würde dadurch viele neue Anwendungsszenarien hervorbringen. Eine Überprüfung solcher Szenarien mit Probandenstudien zum Nachweis der Wirksamkeit ist unerlässlich.

Die in dieser Forschungsarbeit dargestellten Konzepte und Ergebnisse können Lösungswege für die aufgezeigten Fragestellungen sein. Zur Überprüfung dieser Annahmen sind weitere Forschungen und Untersuchungen nötig

LITERATURVERZEICHNIS

[1] Kraftfahrt-Bundesamt: Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2018, Flensburg. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html?nn=644526, abgerufen am: 19.10.2018

[2] Eckert, M.: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Strassenverkehr. Berlin: Verlag Technik 1993

[3] Rumar, K.: The basic driver error: late detection. Ergonomics 33 (1990) 10-11, S. 1281–1290

[4] Owens, D. A. u. Sivak, M.: Differentiation of visibility and alcohol as contributors to twilight road fatalities. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 38 (1996) 4, S. 680–689

[5] Brown, I. D., Britain, G. u. Transport, D. f.: Review of the 'Looked but failed to see' accident causation factor. Road safety research report, Bd. 60. London: Dept. for Transport 2005

[6] Neale, V. L., Dingus, T. A., Klauer, S. G., Sudweeks, J. u. Goodman, M.: An overview of the 100-car naturalistic study and findings, Bericht No. 05–0400, National Highway Traffic Safety Administration

[7] Barbara Metz: Worauf achtet der Fahrer? Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben, Universität Würzburg Dissertation. Würzburg 2009

[8] Gründl, M.: Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen, Regensburg, Univ., Diss., 2005

[9] Gelau, C. u. Bauer, A.: What do accident data tell about drivers needs for assistance? First Conference on Driver Needs. Lissabon, Portugal 2004

[10] Lorenz, L.: Entwicklung und Bewertung aufmerksamkeitslenkender Warn- und Informationskonzepte für Fahrerassistenzsysteme, 2014

[11] Heinrich, H. C.: Aspekte der visuellen Wahrnehmung im Straßenverkehr. Zeitschrift fuer Verkehrssicherheit 33 (1987) 1

[12] Hills, B. L.: Vision, visibility, and perception in driving. Perception 9 (1980) 2, S. 183–216

[13] Barham, P., Oxley, P., Thompson, C., Fish, D. u. Rio, A.: Jaguar cars' near infrared night vision system--overview of human factors research to date. Vision in Vehicles 7 (1999), S. 177–185

[14] Bartenbach, C.: Handbuch für Lichtgestaltung: lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen. Wien: Springer 2009

[15] Hentschel, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung. Grundlagen und Anwendungen der Lichttechnik. Heidelberg: Hüthig 2002

[16] Fairchild, M. D.: Color appearance models. Wiley-IS & T series in imaging science and technology. Chichester, West Sussex, England, Hoboken, NJ: J. Wiley 2005

[17] Karnath, H.-O. u. Thier, P.: Kognitive Neurowissenschaften. SpringerLink : Bücher. Berlin, Heidelberg: Springer 2012

[18] Østerberg, G. A.: Topography of the layer of rods and cones in the human retina. Acta Ophthalmologica (1935) 13, S. 1–97

[19] Schlag, B., Petermann, I., Weller, g. u. Schulze, C.: Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit? Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrerverhalten. VS research : Verkehrspsychologie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

[20] Ahmed, E.: A Textbook of Opthalmology. Prentice Hall India Pvt., Limited 2001

[21] Reiche, D.: Roche-Lexikon Medizin. [62.000 Stichwörter, Tabellen, 40.000 englische Übersetzungen]. München [u.a.]: Urban & Fischer 2003

[22] Hartline H. K.: The response of single optic nerve fibers of the vertebrate eye to illumination of the retina. American Journal of Physiology (1938) 121, S. 400–415

[23] Barlow, H. B., Fitzhigh, R. u. Kuffler, S. W.: Change of organisation in the receptive fieldsof the cat's retina during dark adaptation. Journal of Physiology (1957) 137, S. 338–354

[24] Hubel, D. H. u. Wiesel, T. N.: Receptive fields and functional architecture in two non-striate visual areas (18 and 19) of the cat. Jounal of Neurophysiology (1965) 28, S. 229–289

[25] Kuffler, S. W.: Discharge patterns and funtional organization of mammalian retina. Jounal of Neurophysiology (1953) 16, S. 37–68

[26] Goldstein, E. B.: Sensation and perception. Der Grundkurs. Berlin, Heidelberg: Springer 2015

[27] Hubel, D. H. u. Wiesel, T. N.: Integrative action in the cat's lateral geniculate body. Journal of Physiology (1961) 155, S. 385–398

[28] Hubel, D. H.: Exploration of the primary visual cortex. Nature (1982) 299, S. 515–524

[29] Müller, H. J., Krummenacher, J. u. Schubert, T.: Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung. Grundlagen für die Anwendung. 2015

[30] Jenkin, M. u. Harris, L.: Vision and Attention. New York, NY: Springer New York 2001

[31] Wördenweber, B., Wallaschek, J., Boyce, P. u. Hoffman, D. D.: Automotive lighting and human vision. Berlin, New York: Springer 2007

[32] Chun, M. M., Golomb, J. D. u. Turk-Browne, N. B.: A taxonomy of external and internal attention. Annual Review of Psychology (2011) 62, S. 73–101

[33] Anderson, B. A., Laurent, P. A. u. Yantis, S.: Value-driven attentional capture. Proceedings of the National Academy of Sciences (2011) 108, S. 10367–10371

[34] Wallentowitz, H.: Handbuch Kraftfahrzeugelektronik Grundlagen ; Komponenten ; Systeme ; Anwendungen ; mit 124 Tabellen. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2011

[35] Grimm, M.: Anforderungen an eine ambiente Innenraumbeleuchtung von Kraftfahrzeugen. München: Utz, Wiss 2003

[36] Caberletti, L.: Assessment Methods for Optimisation of Innovative Vehicle Interior Lighting. Bewertungsmethoden zur

Optimierung von innovativen Fahrzeuginnenbeleuchtungen, Technische Universität Ilmenau Dissertationen/Habilitationen. Ilmenau 2012

[37] Köth, K.: Auslegung der Kraftfahrzeugbeleuchtung hinsichtlich Sicht und Signalisation, Universität Karlsruhe Dissertation. Karlsruhe 2009

[38] Jebas, C.: Physiologische Bewertung aktiver und passiver Lichtsysteme im Automobil, Karlsruher Institut für Technologie Dissertation. Karlsruhe

[39] Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren. Wissenschaftliche Begründung zur Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Strahlenschutzkommission, Bonn 2006

[40] Bullough, J. D. u. Rea, M. S.: Simulated driving performance and peripheral detection at mesopic and low photopic light levels. Lighting Research and Technology 32 (2000) 4, S. 194–198

[41] EN 13201-2; 31 January 2016. *Road lighting. Performance requirements,*

[42] Kaltenbach, A.: Daylight simulation for the evaluation of rear lamps. 7th International Symposium on Automotive Lighting. Proceedings ; September 25 - 26, 2007. Darmstädter Lichttechnik, Bd. 12. München: Utz 2007

[43] Völker, S.: Do light sources with a high part of shorter wavelength promote safety? 7th International Symposium on Automotive Lighting. Proceedings ; September 25 - 26, 2007. Darmstädter Lichttechnik, Bd. 12. München: Utz 2007

[44] Wambsganß, H., Eichhorn, K. u. Kley, F.: Next Generation of Ambient Lighting: Physiology and Applications. Proceedings of the 6th International Symposium on Automotive Lighting : [September 27 - 28, 2005] / ISAL 2005. Darmstadt University of Technology, Laboratory of Lightning Technology., Bd. 11. München: Utz 2005, S. 230–238

[45] Matviienko, A., Rauschenberger, M., Cobus, V., Timmermann, J., Fortmann, J., Löcken, A., Müller, H., Trappe, C., Heuten, W. u. Boll, S.: Towards New Ambient Light Systems: a Close Look at Existing Encodings of Ambient Light Systems (2015)

[46] Dziennus, M., Kelsch, J. u. Schieben, A.: Ambient light based interaction concept for an integrative driver assistance system – a driving simulator study. In: D. de Waard, K.A. Brookhuis, A. Toffetti, A. Stuiver, C. Weikert, D. Coelho, D. Manzey, A.B. Ünal, S. Röttger, and N. Merat (Eds.). Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2015 Annual Conference, S. 171–182

[47] Dziennus, M., Kelsch, J. u. Schieben, A.: Ambient Light - An integrative, LED based interaction concept for different levels of automation. 32. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren. Wolfsburg, 08. und 09. November 2016. VDI-Berichte, Bd. 2288. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 103–110

[48] Workshop on Adaptive Ambient In-Vehicle Displays and Interactions, Löcken, A., Borojeni, S. S., Heiko, M., Chuang, L., Schroeter, R., Alvarez, I. u. Meijering, V.

[49] Andreas, L., Shadan, S. B., Heiko, M., M, G. T., Stefano, T., Cyriel, D., Christiane, G., Ignacio, A., Lewis, C. u. Susanne, B.: Towards Adaptive Ambient In-Vehicle Displays and Interactions: Insights and Design Guidelines from the 2015 AutomotiveUI Dedicated Workshop. In: Meixner, G. u. Müller, C. (Hrsg.): Automotive User Interfaces. Creating Interactive Experiences in the Car. Cham: Springer International Publishing 2017, S. 325–348

[50] Kienast, H., Linder, P., Weigel, H., Henning, M., Krems, J., Wanielik, G. u. Spanner-Ulmer, B.: Aufmerksamkeitssteuerung durch räumlich gerichtete Anzeigen in Fahrerassistenzsystemen. VDI-Berichte, Bd. 2048. Düsseldorf: VDI-Verlag 2008

[51] Wickens, C. D. u. McCarley, J. S.: Applied Attention Theory. CRC Press 2007

[52] Hameed, S., Ferris, T., Jayaraman, S. u. Sarter, N.: Using informative peripheral visual and tactile cues to support task and interruption management. Human factors 51 (2009) 2, S. 126–135

[53] U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development, National Highway Traffic Safety Administration, 2013

[54] Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. J3016_201806, SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States 2018

[55] Beck, S.: Autonomes Fahren. Rechtsfolgen, Rechtsprobleme, technische Grundlagen. München: C.H. Beck 2017

[56] Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F. u. Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg 2015

[57] Mees, T. H.: Beitrag zur methodischen Ermittlung subjektiver Anforderungen im Fahrzeugzielmanagement, Technische Universität Ilmenau Dissertation. Ilmenau 2018

[58] Lenz, B.: Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. s.l.: Springer 2015

[59] Hilgendorf, E. (Hrsg.): Autonome Systeme und neue Mobilität. Ausgewählte Beiträge zur 3. und 4. Würzburger Tagung zum Technikrecht. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG 2017

[60] Lutz, L. S.: Automatisiertes Fahren - rechtliche Herausforderungen aus deutscher Perspektive. In: Eisenberger, I., Lachmayer, K. u. Eisenberger, G. (Hrsg.): Autonomes Fahren und Recht. Wien: Manz'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung 2017, S. 211–220

[61] Funke, J. u. Bengel, J.: Handbuch der Allgemeinen Psychologie - Kognition. Handbuch der Psychologie, / hrsg. von J. Bengel … ; Bd. 5. Göttingen: Hogrefe 2006

[62] Hansen, T., Pracejus, L. & Gegenfurtner, K. R.: Color perception in the intermediate periphery of the visual field. Journal of Vision (2009) 9, S. 1–12

[63] Woodson, W. E. u. Conover, D. W.: Human engineering guide for equipment designers. Berkeley, Calif.: University of California Press 1964

[64] Baird, J. W.: The Color Sensitive of the Peripheral Retina. Washington D.C. 1905

[65] Werneke, J. & Vollrath, M.: Eine neue Methode zur Gestatltung von peripheren Warnsignalen im Kraftfahrzeug. Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik - VDI-Berichte 2090 (2010) 2090

[66] Fahle, M. u. Wehrhahn, C.: Motion perception in the peripheral visual field. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology 229 (1991) 5, S. 430–436

[67] Sprenger, R.: Empirische Forschungsmethoden für die Evaluation visueller Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug, Universität Paderborn Dissertation. Paderborn 2008

[68] Gall, D.: Grundlagen der Lichttechnik. Kompendium. Licht und Beleuchtung. München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg: Pflaum 2007

[69] Bortz, J., Döring, N., Pöschl, S., Werner, C. S., Schermelleh-Engel, K., Gerhard, C. u. Gäde, J. C.: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Springer Berlin Heidelberg 2015

[70] Bortz, J. u. Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer 2010

[71] Grehn, F.: Augenheilkunde. Mit … 20 Tabellen. Springer-Lehrbuch. Heidelberg: Springer 2012

[72] DIN EN ISO 15008; 06.2011. *Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen – Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug*

[73] ISO/TS 14198:2012; 2012. *Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems*

[74] Lachenmayr, B.: Gesichtsfeld und Verkehr. Wie funktioniert das periphere Sehen? Der Ophthalmologe : Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft 103 (2006) 5, S. 373–381

[75] Schlag, B.: Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit? Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrerverhalten. VS research : Verkehrspsychologie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

[76] Lüder, A. u. Böckelmann, I.: Visuelle Leistungen unter dem Aspekt Alter. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 61 (2011) 10, S. 328–336

[77] Fischer, B. & Hartnegg, K.: Age effects in dynamic vision based on orientation identification. Experimental Brain Research (2002) 143, S. 120–125

[78] Golka, K. (Hrsg.): Verkehrsmedizin, arbeitsmedizinische Aspekte. Orientierungshilfe für Praxis, Klinik und Betrieb; Schwerpunktthema Jahrestagung DGAUM 2010. Heidelberg [u.a.]: Ecomed Medizin 2011

[79] van Bommel, W.: Road Lighting - Fundamentals, Technology and Application. Age Effects. Springer International Publishing 2015

[80] Wood, J. M.: Aging, Driving & Vision Clinical & experimental optometry (2002) 85

[81] Heller, O.: Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). Psychologische Beiträge : Vierteljahresschrift für alle Gebiete der Psychologie 1985 27, S. 478–493

[82] Osgood, C. E., Suci, G. J. u. Tannenbaum, P. H.: The measurement of meaning. Urbana: University of Illinois Press 1957

[83] Gorniak, M.: Unterschiede im ästhetischen Urteil über gläserne Dachkonstruktionen, Technische Universität Dresden Diplomarbeit. Dresden 2009

[84] Schielke, T.: Light and Corporate Identity; Using Lighting for Corporate Communication, Darmstadt Technische Universität. Darmstadt 2009

[85] Dietze, H.: Die optometrische Untersuchung. Stuttgart, New York: Thieme 2015

[86] Caberletti, L., Elfmann, K., Kümmel, M. & Schierz, C.: Influence of Ambient Lighting in Vehicle Interior on the Driver's Perception. Experience Light 2009 International Conference (2009)

[87] Mantiuk, R., Rempel, A. G. u. Heidrich, W.: Display considerations for night and low-illumination viewing. the 6th Symposium, S. 53

[88] Rempel, A. G.: Perceptual Considerations for Displays under Varying Ambient Illumination, University of British Columbia Dissertation. British Columbia 2012

[89] Zademach, M. u. Abendroth, B.: Ergonomische Auslegung einer Lichtleiste zur Kollisionsvermeidung. Workshopband Mensch & Computer 2013. München: Oldenbourg Verlag, S. 71–78

[90] Werneke, J. & Vollrath, M.: Signal evaluation environment: a new method for the design of peripheral in-vehicle warning signals. Behavioral Research 2011 (43)

[91] Driver Assistance via Optical Information with Spatial Reference. 16th International IEEE Conference on Intelligent Transport Systems, Pfromm, M., Cieler, S. u. Bruder, R., The Netherlands 2013

[92] Gibbons, R. B., Lee, S. E., Williams, B. u. Miller, C. C.: Selection and Application of Warning Lights on Roadway Operations Equipment. Research Report. Washington, D.C.: National Academies Press 2008

[93] Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E. u. Vollrath, M.: Automobilergonomie. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2015

[94] Ovcharova, N.: Methodik zur Nutzenanalyse und Optimierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme, Karlsruher Institut für Technologie Dissertation. Karlsruhe 2013

[95] Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Perrig, W. J. & Meier, B.: The concurrent validity of the N-back Task as a working memory measure. Memory (2010) 18

[96] Chen, Y.-N., Mitra, S. u. Schlaghecken, F.: Sub-processes of working memory in the N-back task: An investigation using ERPs. Clinical Neurophysiology 119 (2008) 7, S. 1546–1559

[97] Vollrath, M. u. Krems, J. F.: Verkehrspsychologie. Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker. Kohlhammer Standards Psychologie. Stuttgart: Kohlhammer 2011

[98] Trösterer, S., Wuchse, M., Döttlinger, C., Meschtscherjakov, A. u. Tscheligi, M.: Light My Way: Visualizing Shared Gaze in the Car. Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. New York 2015, S. 196–203

[99] Löcken, A., Heuten, W. u. Boll, S.: Supporting Lane Change Decisions with Ambient Light. Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. New York 2015, S. 204–211

[100] Maier, K., Hellbrueck, J., SACHER, H., Meurle, J. u. Widmann, U.: " Multimodaler Warnbaukasten". Eine neue Warnphilosophie fuer Fahrerassistenzsysteme. Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit ; 6. VDI-Tagung, Braunschweig, 8. und 9. November 2011. Düsseldorf: VDI-Verl 2011, S. 75–91

[101] Meschtscherjakov, A., Döttlinger, C., Rodel, C. u. Tscheligi, M.: ChaseLight: Ambient LED Stripes to Control Driving Speed. Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. New York 2015, S. 212–219

[102] Lee, D. N.: A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. Perception 5 (1976) 4, S. 437–459

[103] Svensson, Å.: A method for analysing the traffic process in a safety perspective, Lund University 1998

[104] Utesch, F.: Unscharfe Warnungen im Kraftfahrzeug. Eignet sich eine LED-Leiste als Anzeige für Fahrerassistenzsysteme?, Technischen Universität Carolo-Wilhelmina Dissertation. Braunschweig 2014

[105] Reinisch, P.: Eine risikoadaptive Eingriffsstrategie für Gefahrenbremssysteme, Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften» Maschinenbau und Verfahrenstechnik» Institut für Mechatronik und Systemdynamik 2012

[106] van der Horst, Richard u. Hogema, J.: Time-to-collision and collision avoidance systems. na 1993

[107] Ovcharova, N.: Methodik zur Nutzenanalyse und Optimierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme. Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik, Bd. 21. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2014

[108] Schieben, A. u. Lapoehn, S.: MobiFAS: Erprobung eines Interaktionskonzepts zur sicheren Nutzung von Mobilgeräten in der automatisierten Autofahrt. Braunschweiger Verkehrskolloquium. 2015

[109] Vertanen, K.: NASA-TLX in HTML and JavaScript. German translation.

http://www.keithv.com/software/nasatlx/nasatlx_german.html, abgerufen am: 22.06.2016

[110] Hart, S. G. u. Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. Advances in psychology 52 (1988), S. 139–183

[111] Hassenzahl, M.: The Effect of Perceived Hedonic Quality on Product Appealingness. International Journal of Human-Computer Interaction 13 (2001) 4, S. 481–499

[112] Hassenzahl, M., Burmester, M. u. Koller, F.: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: Szwillus, G. u. Ziegler, J. (Hrsg.): Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung. Berichte des German Chapter of the ACM, Bd. 57. Stuttgart [u.a.]: Teubner 2003, S. 187–196

[113] Kittl, C.: Kundenakzeptanz und Geschäftsrelevanz. Erfolgsfaktoren für Geschäftsmodelle in der digitalen Wirtschaft. Gabler Edition Wissenschaft. Mobile computing. Wiesbaden: Gabler 2009

[114] Szwillus, G. u. Ziegler, J. (Hrsg.): Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung. Berichte des German Chapter of the ACM, Bd. 57. Stuttgart [u.a.]: Teubner 2003

[115] Täumer, R., Schlier, C., Schmidt, C. u. Schupp, W.: Die Abhängigkeit der Reaktionszeit von der zeitlichen Folge optischer Reize. Kybernetik 7 (1970) 5, S. 183–191

[116] Saup, W.: Alter und Umwelt. Eine Einführung in die ökologische Gerontologie. Stuttgart: W. Kohlhammer 1993

[117] Hollnagel, E. u. Källhammer, J.-E.: Effects of a Night Vision Enhancement System (NVES) on Driving: Results from a simulator study (2003)

[118] Sivak, M.: The information that drivers use: is it indeed 90% visual? Perception 25 (1996) 9, S. 1081–1089

[119] Reinprecht, K., Muhrer, E. u. Vollrath, M.: Lichtassistenz wirkt - Auch bei müden Fahrern. 12. Braunschweiger Symposiums AAET. Braqunschweig 2011

[120] Kovordanyi, R., Alm, T. u. Ohlsson, K.: Night-Vision Display Unlit during Uneventful Periods May Improve Traffic Safety. 2006 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2006, S. 282–287

[121] Z. Jeftic, J. Engström u. P. Piamonte: Potential safety benefits of lane departure warning systems on Swedish roads: Pre-study. 2003

[122] Realversuch zur Evaluierung vorausschauender Assistenz, Laquai, F., Drefers, E. u. Zhou, Q., 2013

[123] Mahlke, S., Rösler, D., Seifert, K., Krems, J. F. u. Thüring, M.: Evaluation of Six Night Vision Enhancement Systems. Qualitative and Quantitative Support for Intelligent Image Processing. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 49 (2007) 3, S. 518–531

[124] Maier, K.: Multimodaler Warnbaukasten. Entwicklung einer neuen Warnphilosophie für Fahrerassistenzsysteme zur Unterstützung unfallkritischer Bremsszenarien. Audi-Dissertationsreihe, Bd. 92. Göttingen: Cuvillier 2014

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS

ANHANG

Anhang A: ABKÜRZUNGEN

AB	ambiente Beleuchtung
ADTF	Automotive Data and Time-triggered Framework
BL	Baseline
ca	circa
CAN	Controller Area Network
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
ISO	Internationale Organisation für Normung
LÄ	Lichtänderung
LED	Leuchtdiode
M	Mittelwert
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administation
NV	Night Vision Fahrerassistenzsystem

PWM	Pulsweitenmodulation
RGB	Rot-Grün-Blau
SAE	Society of Automotive Engineers
SD	Standardabweichung
SuRT	Surrogate Reference Task
vgl	vergleiche
VTD	Virtual Test Drive

Anhang B: STUDIEN

B.1 STUDIE A

B.1.1 ANHANG ZUR METHODE

	1	2	3	4	5	6	7	
hochwertig								minderwertig
hell								dunkel
aktivierend								ermüdend
neuartig								vertraut
einfach								komplex
übersichtlich								verwirrend
strukturiert								chaotisch
warm								kalt
eindeutig								nichtssagend
friedlich								aggressiv
robust								zart
starr								beweglich
frisch								müde
verschwommen								klar
verspielt								ernst
großzügig								sparsam
schön								hässlich
gewöhnlich								ungewöhnlich
natürlich								technisch
konzentriert								zerstreut
aufmerksam								unaufmerksam
statisch								dynamisch
angenehm								störend
modern								traditionell

Abbildung 5.1: Wortpaare des Semantisches Differentials

B.1.2 VERSUCHSLEITERFADEN

Begrüßung + Erläuterung

Vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, an diesem Versuch teilzunehmen. Sie werden gleich an einer simulierten Nachtfahrt teilnehmen. Insgesamt wird die Untersuchung ungefähr 90-120 Minuten dauern, Sie sitzen ca. 60 Minuten in der Sitzkiste. In dieser Zeit ist es ungünstig, wenn Sie den Raum verlassen, da Ihre Augen sich dann wieder ca. 10 Minuten lang an die Dunkelheit gewöhnen müssen.

Videoaufzeichnung

Während der Fahrt im Simulator werden wir eine Videoaufzeichnung mitlaufen lassen, um die Fahrdaten besser auswerten zu können. Dafür möchte ich Sie bitten, mir Ihr Einverständnis mit einer Unterschrift zu bestätigen.

- Videoaufzeichnung
- Liste 1

Farbtafeln

Da bei dem Experiment Signale in unterschiedlichen Farben auftauchen, ist es wichtig, dass Sie die Farben korrekt wahrnehmen. Ich möchte Sie daher bitten, bei diesen Bildern zu sagen, was Sie erkennen können. Personen mit Rot-Grün-Schwäche nehmen Farben anders wahr als Personen mit normaler Farbsicht.

- Liste 2

Fragebogen (1)

Anschließend möchte ich Sie bitten, den folgenden Fragebogen auszufüllen, mit dessen Hilfe demografische Daten und einige Informationen zu Ihrer

Fahrpraxis abgefragt werden. Die Daten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und anonymisiert ausgewertet. Wenn irgendetwas unklar ist, fragen Sie bitte nach.

- Fragebogen (1)

Fragebogen SIM (1)

Bei Studien am Simulator können unter Umständen bei einigen Probanden Symptome ähnlich der Seekrankheit auftreten. Um Sie über die Risiken aufzuklären, haben wir ein Informationsblatt per Mail an Sie geschickt, das Sie sich hier noch einmal durchlesen können. Bitte bestätigen Sie Ihre Kenntnisnahme mit einer Unterschrift.

- Liste 3

Um Studien am Simulator längerfristig zu verbessern, möchte ich Sie bitten, den folgenden Fragebogen auszufüllen. Entscheiden Sie dabei möglichst spontan. Es ist wichtig, dass Sie nicht lange über die Antwort nachdenken, damit Ihre unmittelbare Einschätzung zum Tragen kommt.

- Fragebogen SIM (1)

Dunkeladaptation

Bevor die Nachtfahrt im Simulator beginnt, ist es notwendig, dass Ihre Augen sich an die Dunkelheit gewöhnen. Dies dauert ungefähr zehn Minuten. Falls Sie den Versuchsraum davor noch einmal verlassen wollen, haben Sie nun noch die Gelegenheit dazu.

→ *Proband setzt sich in die Sitzkiste & stellt den Sitz ein*

→ *Kamera so einstellen, dass Gesicht gut sichtbar ist!*

→ *Proband: Handy lautlos stellen*

→ *Licht aus!*

Instruktion

Während des Experiments bearbeiten Sie unterschiedliche Aufgaben, die ich Ihnen nun vorstellen werde. Insgesamt gibt es 12 kurze Durchgänge mit unterschiedlicher Länge, zwischen denen Sie bei Bedarf kurz Pause machen können. Falls zwischendurch bereits Fragen auftauchen, sagen Sie einfach Bescheid.

Instruktion:

Sie fahren in einem hochautomatischen Fahrzeug, das von selbst lenkt, Gas gibt und bremst. Da Sie nicht auf den Verkehr achten müssen, haben Sie daher die Möglichkeit, während der Fahrt andere Tätigkeiten auszuführen. Konkret gibt es drei verschiedene Aufgaben, die Sie während der Fahrt bearbeiten sollen. Es ist wichtig, dass Sie die Aufgaben sorgfältig und so gut wie möglich bearbeiten!

1. Aufgabe: Bei der ersten Aufgabe handelt es sich um eine visuelle Aufgabe. Sie bekommen dazu ein Tablet mit einer Suchaufgabe, bei der Ihnen auf dem Bildschirm Kreise präsentiert werden. Die Kreise besitzen die gleiche Größe, ein einzelner Kreis ist etwas größer. Sobald Sie diesen Kreis gefunden haben, geben Sie uns eine Rückmeldung und nennen Sie die Stelle auf dem Bildschirm, an der Sie ihn lokalisiert haben (links / rechts).

2. Aufgabe: Bei der nächsten Aufgabe bekommen Sie Rechenaufgaben gestellt, die Sie bitte im Kopf lösen und mir die Zwischenergebnisse mitteilen. Ein Beispiel dafür ist das Abziehen / Subtrahieren von 7 von 400. „400 – 393 – 386 - …“. Schließen Sie während dem Rechnen bitte nicht die Augen.

3. Aufgabe: Die dritte Aufgabe besteht darin, dass Sie verdeckt ein Steckpuzzle lösen sollen. Sie bekommen dafür einen Stoffbeutel, in dem sich verschiedene Holzteile und ein Holzwürfel befinden. Versuchen Sie, so viele Teile wie möglich an den passenden Stellen zu platzieren.

Während Sie die Aufgaben bearbeiten, tauchen an verschiedenen Stellen der ambienten Beleuchtung Lichtänderungen auf. Sobald Sie eine Änderung wahrnehmen, nutzen Sie das Bremspedal. Es ist wichtig, dass Sie so schnell wie möglich reagieren. Nachdem Sie das Signal bemerkt und reagiert haben, ist die Aufgabe beendet und wir fahren mit der nächsten Aufgabe fort. Nach jeder Aufgabe bekommen Sie einen kurzen Fragebogen mit vier Aussagen zu dem soeben beendeten Durchgang.

Es kann passieren, dass die Aufgabe beendet wird, ohne dass Sie eine Veränderung wahrgenommen haben.

Versuchsfahrt

Wenn Sie nun keine weiteren Fragen haben, folgt jetzt die eigentliche Versuchsfahrt. Insgesamt gibt es zwölf Durchgänge, zwischen denen Sie bei Bedarf kurz Pause machen können.

- 12 Durchgänge → 12 Kurzfragebögen
- Reaktionszeiten

Fragebogen (2)

Sie bekommen nun noch einen kurzen Fragebogen mit Fragen zu der erlebten Fahrt und Ihrem persönlichen Eindruck. Bitte beantworten Sie diese Fragen sorgfältig.

- Fragebogen (2)

Semantisches Differential

Ich werde Ihnen jetzt noch einmal die vier erlebten Lichtänderungen darstellen und Sie bitten, danach für jede dieser vier einen kurzen Fragebogen auszufüllen. Entscheiden Sie möglichst spontan, ohne lange über die Antwort nachzudenken. Es gibt keine „richtige“ oder „falsche“ Antwort.

Randomisiert:
Helligkeitsänderung / Semantisches Differential 1
Farbänderung / Semantisches Differential 2
Bewegungsänderung / Semantisches Differential 3
Blinklicht / Semantisches Differential 4

- Semantisches Differential 1-4
- → Licht an, Proband steigt aus Sitzkiste

Fragebogen SIM (2)

Zum Abschluss möchte ich Sie noch einmal bitten, den Fragebogen zu Ihrem körperlichen Befinden noch einmal auszufüllen. Antworten Sie wieder möglichst spontan.

- Fragebogen (SIM 2)

Verabschiedung

B.1.3 VERSUCHSABLAUFPLAN

Erläuterung		Zeit in min.
Abholen der Probanden		7
Begrüßung + Erläuterung	Dank für die Teilnahme, Vorstellung der Studie	2
Videoaufzeichnung	Aufklärung & Einverständnis mit Videoaufzeichnung	1
Farbtafeln	Ishihara Farbtafeln zur Überprüfung von Rot-Grün-Schwäche	1
Fragebogen (1)	Daten zur Beschreibung der Stichprobe: (TB)	4

	Personenbezogene Daten Fahrerfahrung	
Fragebogen SIM (1)	Aufklärung über mögliche Risiken, Einverständniserklärung Pflichtfragebogen (TB)	5
Dunkeladaptation	Dunkeladaptation	
Instruktion	Vorstellung der 3 Aufgaben und des Simulators Hochautomatisches Fahren: visuelle motorische, kognitive Aufgabe Reaktion auf Signale, die an verschiedenen Orten auftauchen können: Pedale	10
Versuchsfahrt	12 Durchgänge, jeweils 2-4 Minuten Kurzfragebogen jeweils 1 Min (TB)	50
Fragebogen (2)	Fragebogen zur Erfassung des Eindrucks der Lichtänderung (TB)	5
Semantisches Differential	Präsentation der vier Lichtänderungen 4 x Semantisches Differential	7
Fragebogen SIM (2)	Pflichtfragebogen (TB)	4
Verabschiedung	Danke für die Teilnahme + Präsente, Begleitung zum Tor	10
Summe ca. 110 Minuten		

B.2 STUDIE B

B.2.1 VERSUCHSLEITERFADEN UND VERSUCHSABLAUFPLAN

Erläuterung/Instruktionen		Zeit in Min.
Abholen der Probanden		7
Begrüßung + Erläuterung	Vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, an diesem Versuch teilzunehmen. Es handelt sich dabei um einen Versuch in der Dunkelheit, um die Daten auf Nachtfahrten übertragen zu können. Insgesamt wird die Studie ca. 60 Minuten in Anspruch nehmen. In dieser Zeit ist es ungünstig, wenn Sie den Raum verlassen, da Ihre Augen sich dann wieder ca. 10 Minuten lang an die Dunkelheit gewöhnen müssen.	2
Fragebogen (1) Daten zur Beschreibung der Stichprobe: Personenbezogene Daten Fahrerfahrung	Ich möchte Sie nun bitten, den folgenden Fragebogen auszufüllen, mit dessen Hilfe demografische Daten und einige Informationen zu Ihrer Fahrpraxis abgefragt werden. Die Daten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und anonymisiert ausgewertet. Wenn irgendetwas unklar ist, fragen Sie bitte nach.	5

Dunkeladaptation	Bevor der Versuch beginnt, ist es notwendig, dass Ihre Augen sich an die Dunkelheit gewöhnen. Dies dauert ungefähr zehn Minuten. Falls Sie den Versuchsraum davor noch einmal verlassen wollen, haben Sie nun noch die Gelegenheit dazu. Bitte schalten Sie ihr Handy aus oder stellen es auf lautlos. → Licht aus! Auf die Zeit achten	
Instruktion Vorstellung der Aufgabe	Während des Experiments werden Sie gleich eine Aufgabe auf einem Tablet bearbeiten. Diese läuft folgendermaßen ab: Auf dem Display sehen Sie neun Felder, die quadratisch angeordnet sind. Eins von den Feldern ist immer schwarz. Die Position des schwarzen Feldes wechselt. Ihre Aufgabe besteht nun darin, zu reagieren, wenn der gegenwärtige Reiz mit dem übereinstimmt, der 2 (bzw. 3) Schritte vorher gezeigt wurde. Um zu reagieren, tippen Sie auf das Feld. Wenn die Aufgabe zu Ende ist, können Sie diese einfach über den Start-Button wieder starten. Sie sehen vor sich (auf dem Tisch, oder wo auch immer) eine Beleuchtung, die der ambiente Beleuchtung im Fahrzeug nachempfunden ist. Während Sie die Aufgabe auf dem Tablet bearbeiten, wird	10

	sich das Licht ändern. Ich möchte Sie bitten, mir zu sagen, sobald Sie eine Veränderung wahrgenommen haben. Es werden mehrere Lichtänderungen gezeigt. Konzentrieren Sie sich während des Experiments bitte auf die Aufgabe und nicht auf die ambiente Beleuchtung.	
Versuch Neun Durchgänge, jeweils ca. 4 Minuten Kombinationen aus drei Ausdehnungen x drei Lichtänderungen Schmal – mittel – breit Helligkeit – Lauflicht – Blinklicht	Wenn Sie nun keine weiteren Fragen haben, folgt der eigentliche Versuch. Wenn Sie Pause machen wollen, sagen Sie bitte Bescheid. Sie können nun die Aufgabe starten. Nach Bemerken der Lichtänderung: Ich nehme Ihnen das Tablet jetzt ab und Sie schauen sie die Lichtänderung bitte noch mal an. Nach 2. Lichtänderung: Nun füllen Sie bitte diesen kurzen Fragebogen auf dem Tablet aus. Ergebnisse in Tabelle eintragen Vor nächstem Durchgang: Sie werden nun eine weitere Lichtänderung erleben. Wir gehen so vor, wie in dem vorherigen Durchgang: Sie bearbeiten die Aufgabe auf dem Tablet und geben mir Bescheid, sobald Sie eine Lichtänderung wahrnehmen.	40

Fragebogen (2) (nach jedem Versuchsdurchgang) Neun Kurzfragebögen zur Beurteilung der Lichtänderungen in der optimalen Beleuchtungsstärke → Absolutschwelle	Sie bekommen nun noch einen kurzen Fragebogen zu der von Ihnen wahrgenommenen Lichtänderung. Bitte beantworten Sie diese Fragen sorgfältig.	4
Verabschiedung	Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Studie. Als Aufwandsentschädigung bekommen Sie ein Präsent. Begleitung zum Tor + Schein & Unterschriften nicht vergessen	10
Summe ca. 70 Minuten		

B.3 STUDIE C

B.3.1 ANHANG ZUR METHODE

menschlich	○	○	○	○	○	○	○	technisch
isolierend	○	○	○	○	○	○	○	verbindend
angenehm	○	○	○	○	○	○	○	unangenehm
originell	○	○	○	○	○	○	○	konventionell
einfach	○	○	○	○	○	○	○	kompliziert
fachmännisch	○	○	○	○	○	○	○	laienhaft
hässlich	○	○	○	○	○	○	○	schön
praktisch	○	○	○	○	○	○	○	unpraktisch
sympathisch	○	○	○	○	○	○	○	unsympathisch
umständlich	○	○	○	○	○	○	○	direkt
stilvoll	○	○	○	○	○	○	○	stillos
voraussagbar	○	○	○	○	○	○	○	unberechenbar
minderwertig	○	○	○	○	○	○	○	wertvoll
ausgrenzend	○	○	○	○	○	○	○	einbeziehend
bringt mich den Leuten näher	○	○	○	○	○	○	○	trennt mich von Leuten
nicht vorzeigbar	○	○	○	○	○	○	○	vorzeigbar
zurückweisend	○	○	○	○	○	○	○	einladend
phantasielos	○	○	○	○	○	○	○	kreativ
gut	○	○	○	○	○	○	○	schlecht
verwirrend	○	○	○	○	○	○	○	übersichtlich
abstoßend	○	○	○	○	○	○	○	anziehend
mutig	○	○	○	○	○	○	○	vorsichtig
innovativ	○	○	○	○	○	○	○	konservativ
lahm	○	○	○	○	○	○	○	fesselnd
harmlos	○	○	○	○	○	○	○	herausfordernd
motivierend	○	○	○	○	○	○	○	entmutigend
neuartig	○	○	○	○	○	○	○	herkömmlich
widerspenstig	○	○	○	○	○	○	○	handhabbar

Abbildung 5.2: AttrakDiff Fragebogen aus Studie C mit 28 bipolaren Items und einer zugehörigen siebenstufigen Skala

Fragestellungen des teilstandardisierten Interviews

Bisherige Erfahrung:

- Sind Sie bereits einmal mit einem Fahrzeug mit ambienter Beleuchtung gefahren?
    - [wenn ja:] Wie bewerten Sie bzw. wie zufrieden sind Sie mit diesen Systemen?
- Wie sind Ihre bisherigen Erfahrungen mit Fahrerassistenzsystemen in Autos?
    - [wenn viel erzählt wird, fokussieren auf, oder wenn wenig, nachfragen nach:] Spurwechselassistent, toter Winkel Assistent, Markierungslicht, ACC

Manuelle Fahrt:

- Ist es generell sinnvoll ambiente Beleuchtung bei der manuellen Fahrt zur Aufmerksamkeitslenkung zu verwenden?
    - [wenn nein:] Was stört Sie? Warum halten Sie es für ungeeignet?
- Wie bewerten Sie die gesehenen Lichtänderungen in Hinblick auf die Aufmerksamkeitslenkung bei der manuellen Fahrt? Was ist gut? Was ist schlecht?
    - [wenn folgende Dinge nicht angesprochen werden, ansprechen:] Größe / Helligkeit / Farbe / Animation
- (Weitere) Verbesserungsvorschläge?

Automatisierte Fahrt:

- Welche Funktion haben die Lichtänderungen Ihrer Meinung nach beim automatischen Fahren?
    - [wenn falsche Antwort:] Erklärung/Aufklärung
- Können Sie sich vorstellen, dass solche Hinweise Ihr Vertrauen in ein automatisches Fahrzeug erhöhen könnten?
    - [wenn nein:] Warum? Was stört Sie?
- Wie bewerten Sie die gesehenen Lichtänderungen in Hinblick auf die Aufmerksamkeitslenkung bei der automatisierten Fahrt? Was ist gut? Was ist schlecht?
    - [wenn folgende Dinge nicht angesprochen werden, ansprechen:] Größe / Helligkeit / Farbe / Animation
- (Weitere) Verbesserungsvorschläge?

Allgemeine Fragen:

- Konnte die Lichtänderung Ihre Aufmerksamkeit vom Innenraum (nach außen) auf die Fahrsituation lenken?
    - [wenn nein:] Warum?
    - [wenn ja:] War dies ab der ersten Fahrt verständlich?
- Wenn Sie sich eine ambiente Innenraumbeleuchtung zulegen würden, welche Variante der vorgeführten Lichtänderungen würden Sie sich wünschen?
- Haben Sie sonst noch eine Anmerkung?

B.3.2 VERSUCHSLEITERFADEN UND VERSUCHSABLAUFPLAN

	Erläuterung/Instruktionen	**Zeit in Minuten**
Checkliste vor Abholung Probanden	- *Alle PCs an?* - *ADTF an?* - *VTD Welt geladen?* - *„test“ als SURT ID und Maus aus dem Bild (langsam rechts raus)* - *Alle Beamer an & Bildschirme mit Rücksichten?* - *Lenkrad in gerader Position?* - *Funktioniert Mikro / Soundanlage?* - *Eye-Tracking Software geladen?*	
Abholen der Probanden		*7*
Begrüßung + Erläuterung	Vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, an diesem Versuch teilzunehmen. Es handelt sich dabei um einen Versuch in der Dunkelheit, um die Daten auf Nachtfahrten übertragen zu können. Insgesamt wird die Studie ca. *100 - 120 Minuten* in Anspruch nehmen. Bitte schalten Sie ihr Handy aus oder stellen es auf lautlos.	*2*
Listen	Während der Fahrt im Simulator werden wir eine <u>Videoaufzeichnung</u> mitlaufen lassen, um die Fahrdaten besser auswerten zu können. Parallel dazu läuft auch ein <u>Eye-Tracking</u> System welches über eine Brille ebenfalls Videos des Auges aufnimmt. Für ein <u>Interview</u> werden auch Audioaufzeichnung mitgeschnitten. Dafür möchte ich Sie bitten, mir Ihr Einverständnis mit einer Unterschrift zu bestätigen.	*2*

	• → Unterschrift! Bei Studien am Simulator können unter Umständen bei einigen Probanden Symptome ähnlich der Seekrankheit auftreten. Um Sie über die Risiken aufzuklären, haben wir ein Informationsblatt per Mail an Sie geschickt, das Sie sich hier noch einmal durchlesen können. Bitte bestätigen Sie Ihre Kenntnisnahme mit einer Unterschrift. • → Unterschrift!	
Fragebogen (1) Probandenpool Fragebogen	Um Studien am Simulator längerfristig zu verbessern, möchte ich Sie bitten, den folgenden Fragebogen auszufüllen. Entscheiden Sie dabei möglichst spontan. Es ist wichtig, dass Sie nicht lange über die Antwort nachdenken, damit Ihre unmittelbare Einschätzung zum Tragen kommt. • → Tablet	*4*
Dunkeladaption	Bevor der Versuch beginnt, ist es notwendig, dass Ihre Augen sich an die Dunkelheit gewöhnen. Dies dauert ungefähr zehn Minuten. In dieser Zeit ist es ungünstig, wenn Sie den Raum verlassen, da Ihre Augen sich dann wieder an die Dunkelheit gewöhnen müssen. Falls Sie den Versuchsraum davor noch einmal verlassen wollen, haben Sie nun noch die Gelegenheit dazu.	*10*

	• → Proband setzt sich in die Sitzkiste & stellt den Sitz ein; Tür schließen HELFEN • → Kamera so einstellen, dass Gesicht gut sichtbar ist! • → Proband: Handy lautlos stellen • → Licht aus!	
Fragebogen (2) Daten zur Beschreibung der Stichprobe: – Personenbezogene Daten – Fahrerfahrung	Ich möchte Sie nun bitten, den folgenden Fragebogen auszufüllen, mit dessen Hilfe demografische Daten und einige Informationen zu Ihrer Fahrpraxis abgefragt werden. Die Daten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und anonymisiert ausgewertet. Wenn irgendetwas unklar ist, fragen Sie bitte nach. • → Tablet • → Audio Test der Soundanlage	*4*
Instruktion Allgemein Vorstellung der Aufgaben Kurzer Test der Aufgabe	Sie werden im Folgenden verschiedene Strecken im Simulator abfahren. Ein Teil davon wird in einem manuellen Modus durchgeführt, in dem Sie selbst das Auto steuern müssen, der andere Teil findet in einem hochautomatisiertem Modus statt, in dem das Auto von einem Autopiloten gesteuert wird. Während der Fahrten werden Sie zusätzlich eine Suchaufgabe auf dem oberen Display der	*2*

	Mittelkonsole bearbeiten. Diese läuft folgendermaßen ab: Auf dem Display sehen Sie Kreise. Einer von diesen ist etwas größer als die anderen. Ihre Aufgabe besteht nun darin, den größeren Kreis zu finden und ihn anzutippen. Die Position des größeren Kreises wechselt Die Aufgabe startet beim ersten Klick auf den größeren Kreis. Testen Sie die Aufgabe und den Touchscreen nun kurz. • → Testdurchgang starten • → ID eingeben und • → Aufgabe starten	
	Achtung! Falls 2. Modus: NASA-TLX vorher nicht vergessen!	
Instruktion zum manuellen Modus Reihenfolge welcher Modus zuerst kommt randomisiert zwischen den Probanden	Wir beginnen mit dem manuellen Modus. / Nun kommen wir zum manuellen Modus. In diesem Modus werden wir im Folgenden 8 Szenarien durchfahren. Versuchen Sie bitte in diesem Modus möglichst gut die Spur zu halten. Im Head-Up-Display erscheinen Pfeile, diese sind als Navigationspfeile für die nächste Kreuzung zu verstehen. Fahren Sie bitte an Kreuzungen, wenn Sie keine eingeblendeten Pfeile zum Abbiegen in der Simulation sehen geradeaus (auch wenn die Vorfahrtsstraße abbiegt). Während dessen	*3*

8 Durchgänge, jeweils ca. 3-4 Minuten	versuchen Sie bitte möglichst viele Punkte in der Suchaufgabe zu gewinnen, soweit Ihnen dies gelingt ohne den Verkehr zu gefährden und ihre Spur zu verlassen. Bitte halten sie sich an die STVO und fahren Sie wie im realen Straßenverkehr. Bitte halten Sie sich an Geschwindigkeitsbegrenzungen und fahren Sie auf freigegebener Autobahn nicht schneller als 130 km/h. Während der Fahrt können Lichtänderungen auf den LED Leisten auftauchen. Diese sollen Sie auf bestimmte Vorkommnisse im Szenario hinweisen. Wenn Sie eine Lichtänderung wahrnehmen, versuchen Sie das entsprechende Vorkommnis zu identifizieren und gegebenenfalls zu reagieren. Achten Sie sonst nicht speziell auf die LED Leisten. Wir starten nun mit einer kurzen Testfahrt. → *Testfahrt Starten* • → Testfahrt Starten	
	Achtung! Falls 2. Modus: NASA-TLX vorher nicht vergessen!	
Instruktion zum automatisierten Modus Reihenfolge welcher Modus zuerst kommt randomisiert	Wir beginnen mit dem automatisierten Modus. / Nun kommen wir zum automatisierten Modus. In diesem Modus werden wir im Folgenden (weitere) 4 Szenarien durchfahren.	*3*

zwischen den Probanden 4 Durchgänge, jeweils ca. 3-4 Minuten	In diesem Modus übernimmt ein Autopilot für Sie die Fahraufgabe. Sie können sich währenddessen voll auf die Suchaufgabe konzentrieren. Versuchen Sie bitte so viele Punkte wie möglich zu gewinnen. Während der Fahrt können Lichtänderungen auf den LED Leisten auftauchen. Diese sollen Sie auf bestimmte Vorkommnisse im Szenario hinweisen. Wenn Sie eine Lichtänderung wahrnehmen versuchen Sie das entsprechende Vorkommnis zu identifizieren. Der Autopilot wird aber falls nötig selbst auf das Vorkommnis reagieren. Achten Sie sonst nicht speziell auf die LED Leisten. Sobald ich das erste Szenario geladen habe, können Sie mit der Suchaufgabe starten.	
Eye-Tracking	Vor dem Start des Versuchs Messen wir noch das Eye-Tracking System ein. Dazu komme ich jetzt zu Ihnen und setze Ihnen eine Brille auf und erkläre Ihnen dann kurz die nötigen Schritte zum Einmessen. • → Brille aufsetzen und Nasenbügel überprüfen, Augenvideos anschauen! Für das Einmessen müssen wir nun auf einen Punkt schauen, bitte schauen Sie die große 0 im Kombidisplay in der Mitte der Geschwindigkeitsanzeige an.	

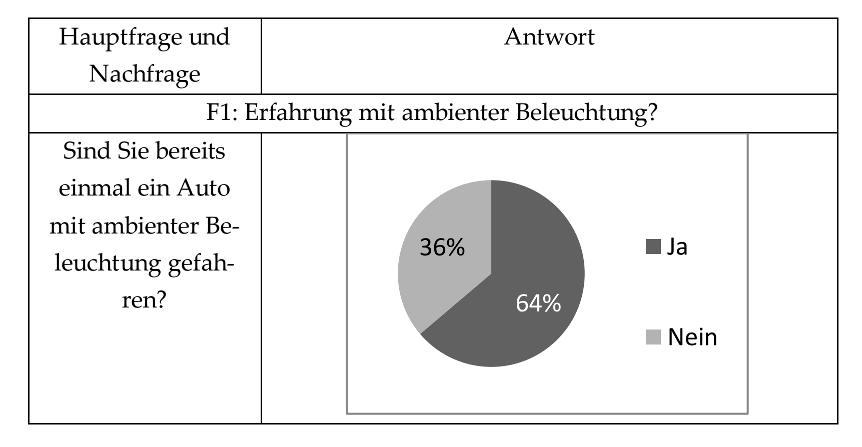
	• → Außenspiegel fragen und einstellen	
Versuchsdurch-führung	Wenn Sie nun keine weiteren Fragen haben starte ich das erste Szenario im manuellen/automatischen Modus. Wenn Sie Pause machen wollen, sagen Sie bitte Bescheid. • → Eye-Tracking Aufzeichnung starten (EVG View) • → Nebenaufgabe „r“ drücken und Probanden ID eingeben und starten • → Szenario starten Nach der Lichtänderung: • → Simulation STOPPEN • → Haben Sie eine Lichtänderung wahrgenommen?	*60*
Fragebogen (3) (nach jedem Versuchsdurchgang)	Sie bekommen nun noch einen kurzen Fragebogen zu der von Ihnen wahrgenommenen Lichtänderung. Bitte beantworten Sie diese Fragen sorgfältig im oben Display der Mittelkonsole. • → Taste „Q“ drücken • → Wenn Fertig, Taste „S“ drücken	*1*
Fragebogen (4) NASA TLX Fragebogen	Jetzt bekommen Sie noch einen weiteren kurzen Fragebogen, bitte füllen Sie diesen auch auf dem Display in der Mittelkonsole aus. • → Taste „N“ drücken	*1*

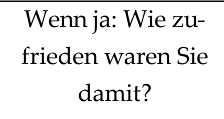
<table>
<tr><td>(nach dem automatischen und manuellen Block)</td><td>→ Wenn Fertig, erst Taste „M“/“A“, dann Taste „S“ drücken</td><td></td></tr>
<tr><td>Nach beiden Blöcken</td><td>Sie können jetzt die Brille absetzen.
→ Helfen beim Brille absetzen
→ Simulation stoppen und Eye Tracking Video stoppen</td><td></td></tr>
<tr><td>AttrakDiff + Präsentation</td><td>Ich werde Ihnen jetzt noch einmal die erlebten Lichtänderungen darstellen und Sie bitten danach für jede einen kurzen Fragebogen auf dem Tablet auszufüllen.
→ Light Demo im VTD Trigger (auf VTD rechner, Browser, Light Demo, ganz unten) losschicken
Entscheiden Sie möglichst spontan, ohne lange über die Antwort nachzudenken. Es gibt keine „richtige“ oder „falsche“ Antwort.
Randomisiert:
Proband 1-25: 1. Lauflicht, 2. Blinklicht
Proband 25-50: 1. Blinklicht, 2. Lauflicht
→ Tablet mit AttrakDiff</td><td>7</td></tr>
<tr><td>Interview</td><td>→ Licht An, Proband beim Aussteigen helfen, Tür öffnen HELFEN
Wir setzen uns nun noch einmal in den Vorbereitungsraum und führen ein kurzes Interview zu dem erlebten Versuch durch.</td><td>7</td></tr>
</table>

Fragebogen (4) Probandenpool Fragebogen	Zum Abschluss möchte ich Sie noch einmal bitten, den Fragebogen zu Ihrem körperlichen Befinden noch einmal auszufüllen. Antworten Sie wieder möglichst spontan.	*3*
Verabschiedung	Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Studie. Als Aufwandsentschädigung bekommen Sie ein Präsent. Begleitung zum Tor + Schein & Unterschriften nicht vergessen	*10*
Summe: *ca. 110 Minuten*		

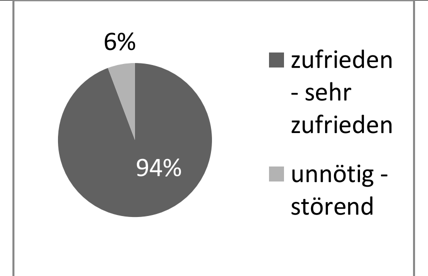
B.3.3 ANTWORTEN TEILSTANDARDISIERTES INTERVIEW

Tabelle 5.1: Fragestellung und Antworten des teilstandardisierten Interviews, Studie C

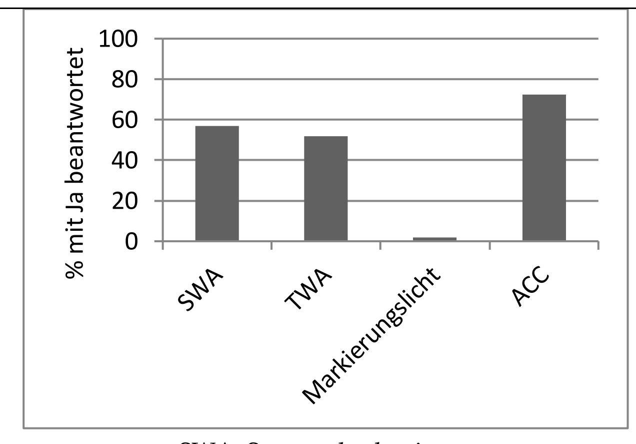
Hauptfrage und Nachfrage	Antwort
F1: Erfahrung mit ambienter Beleuchtung?	
Sind Sie bereits einmal ein Auto mit ambienter Beleuchtung gefahren?	



Wenn ja: Wie zufrieden waren Sie damit?



F2: Was für Erfahrung haben Sie mit Fahrerassistenzsystemen im Straßenverkehr?

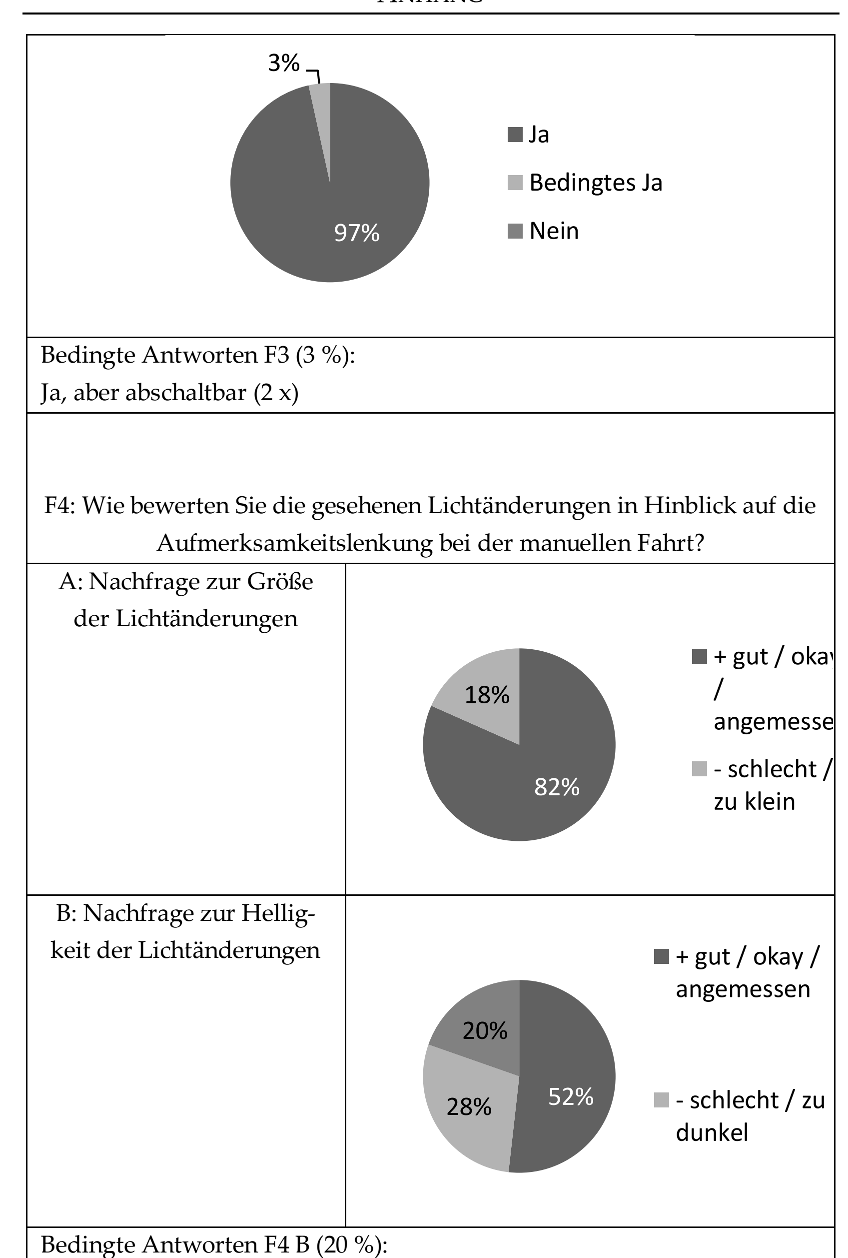


SWA: Spurwechselassistent

TWA: Tot-Winkel-Assistent

ACC: Abstandsregeltempomat

F3: Halten Sie es generell für sinnvoll, ambiente Innenraumbeleuchtung zur Aufmerksamkeitslenkung zu verwenden?

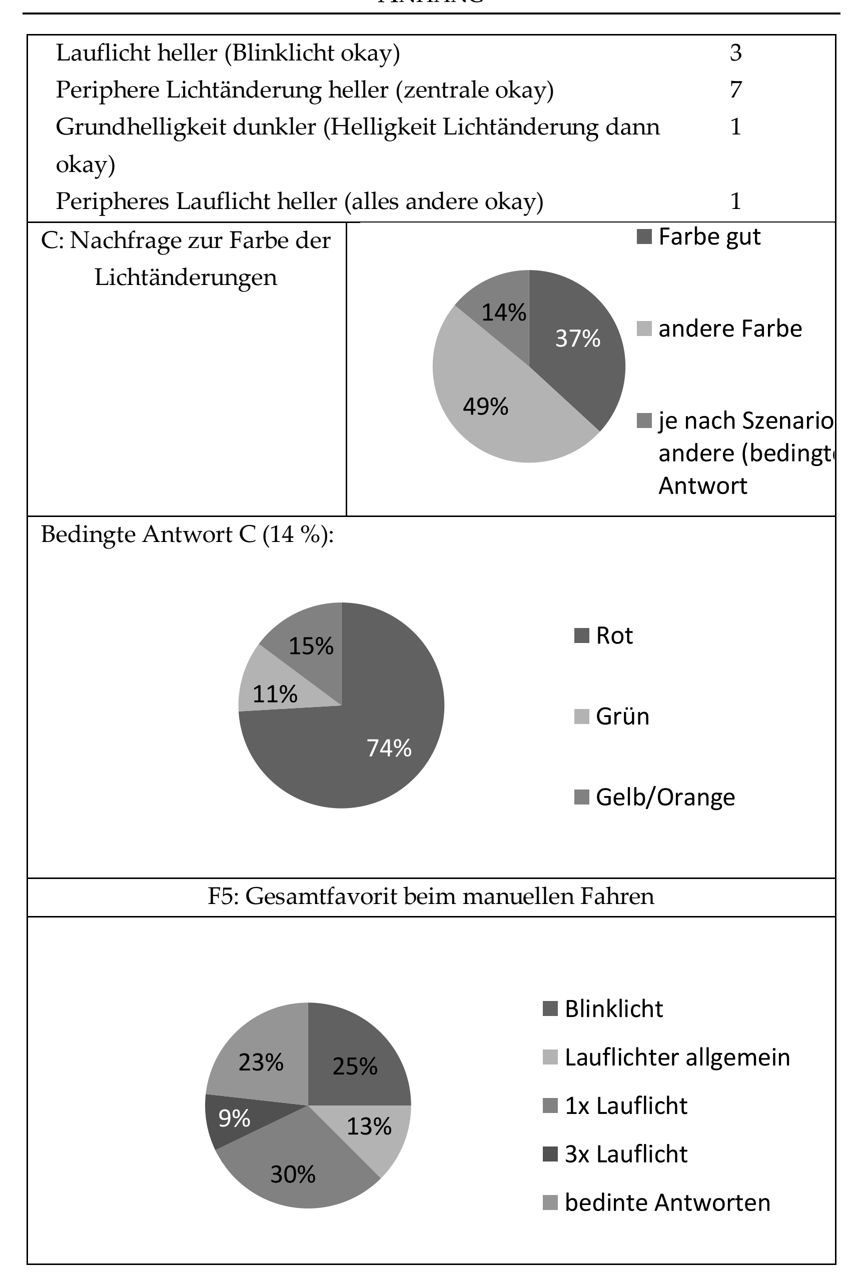


Bedingte Antworten F3 (3 %):
Ja, aber abschaltbar (2 x)

F4: Wie bewerten Sie die gesehenen Lichtänderungen in Hinblick auf die Aufmerksamkeitslenkung bei der manuellen Fahrt?

A: Nachfrage zur Größe der Lichtänderungen	
B: Nachfrage zur Helligkeit der Lichtänderungen	

Bedingte Antworten F4 B (20 %):



Lauflicht heller (Blinklicht okay)	3
Periphere Lichtänderung heller (zentrale okay)	7
Grundhelligkeit dunkler (Helligkeit Lichtänderung dann okay)	1
Peripheres Lauflicht heller (alles andere okay)	1

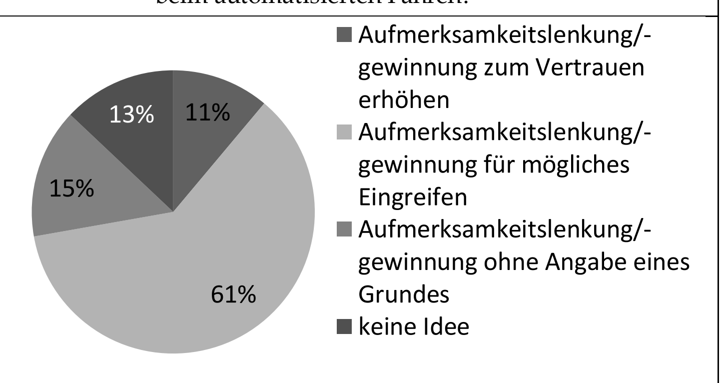
C: Nachfrage zur Farbe der Lichtänderungen

Bedingte Antwort C (14 %):

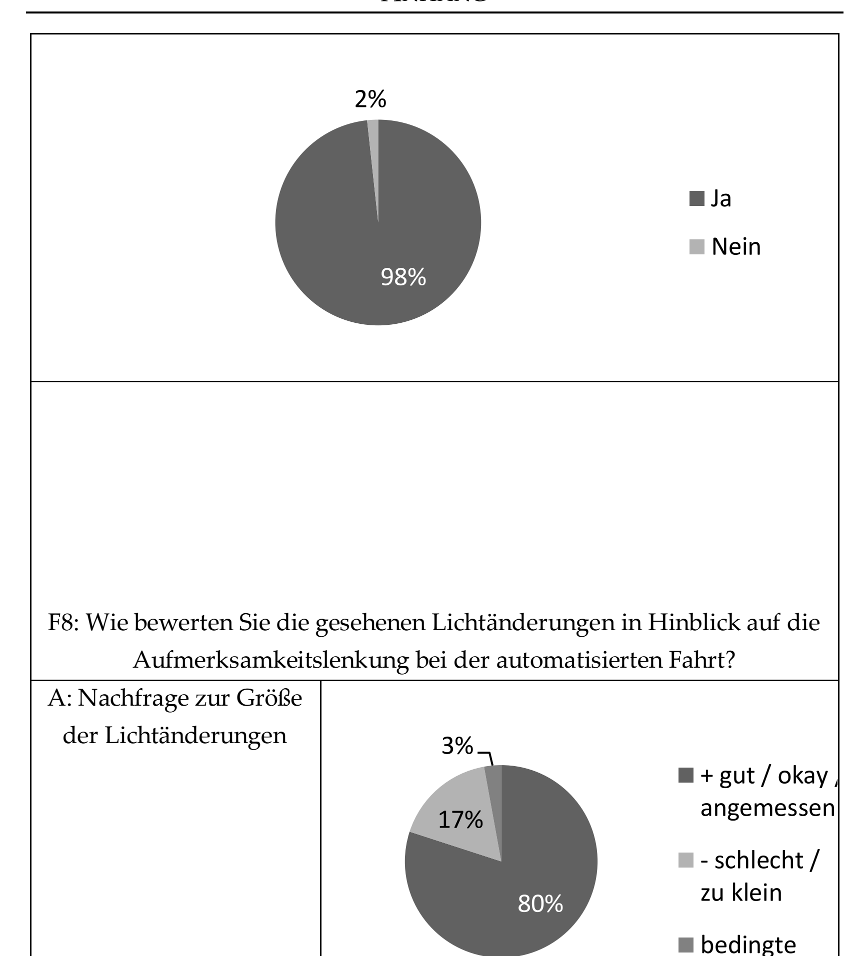
F5: Gesamtfavorit beim manuellen Fahren

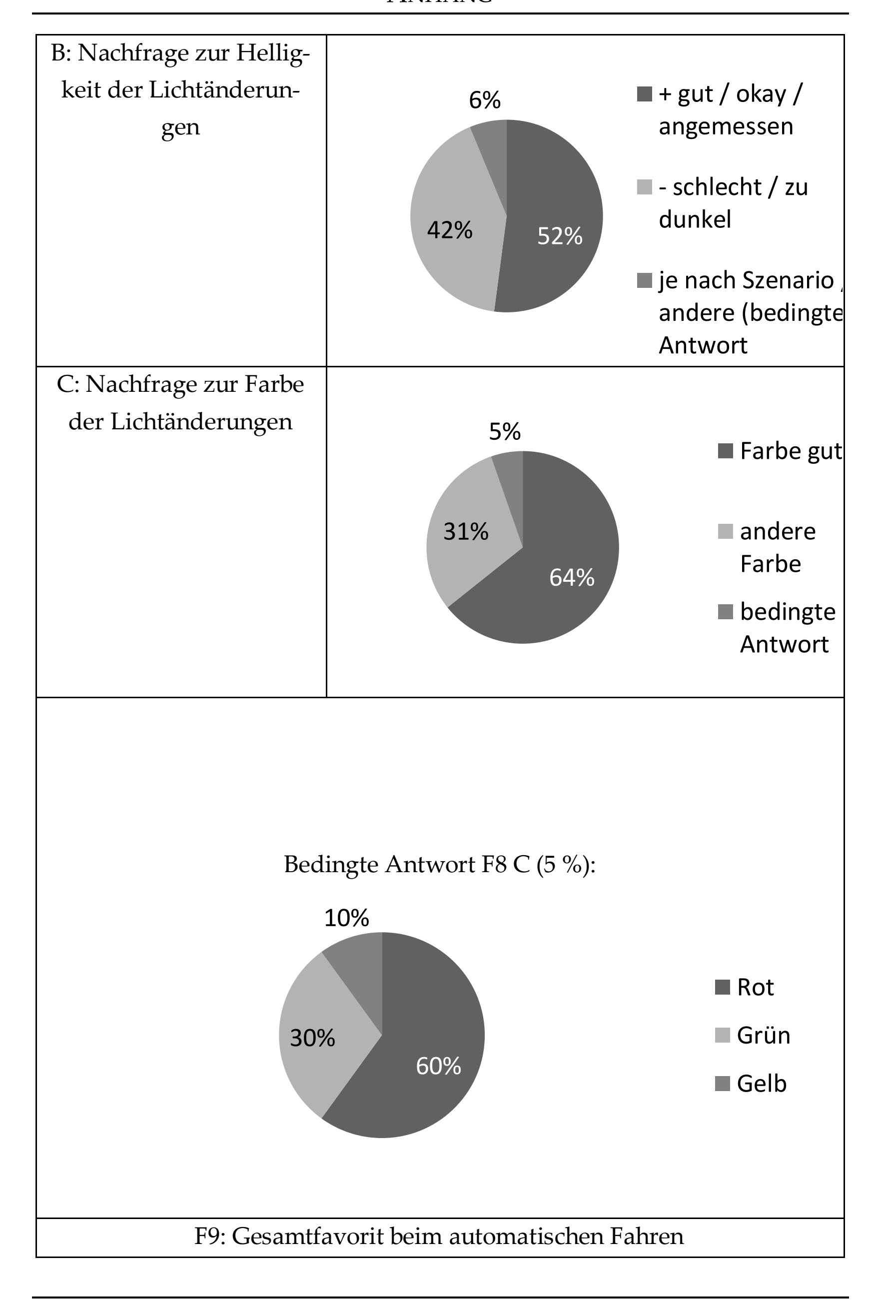
Bedingte Antworten F5 (23 %):	
Blinklicht	14
Lauflichter allgemein	7
1x Lauflicht	17
3x Lauflicht	5
bedingte Antworten	13
kein Favorit	2

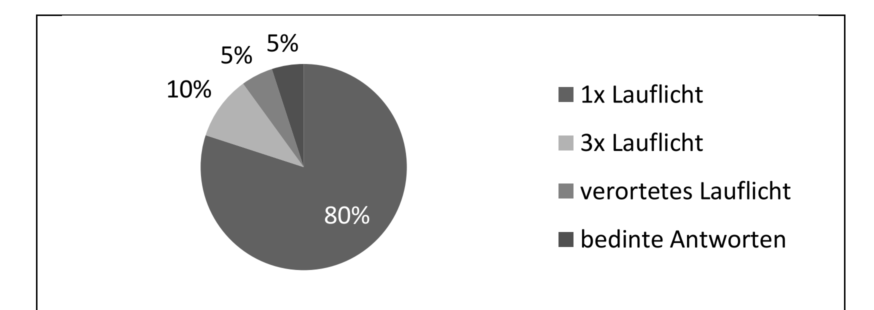
F6: Welche Funktion haben die Lichtänderungen Ihrer Meinung nach beim automatisierten Fahren?



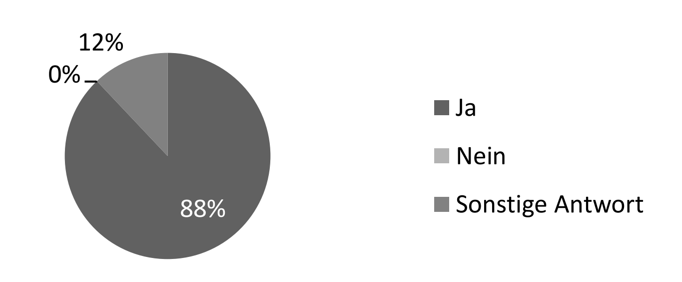
F7: (Nach Erklärung über Idee des Vertrauen Erhöhens) Können Sie sich vorstellen, dass solche Hinweise Ihr Vertrauen in ein automatisiertes Fahrzeug erhöhen können?


2%
98%
Ja
Nein
F8: Wie bewerten Sie die gesehenen Lichtänderungen in Hinblick auf die Aufmerksamkeitslenkung bei der automatisierten Fahrt?
A: Nachfrage zur Größe der Lichtänderungen
3%
17%
80%
+ gut / okay / angemessen
- schlecht / zu klein
bedingte Antwort


B: Nachfrage zur Hellig-keit der Lichtänderun-gen
6%
42%
52%
+ gut / okay / angemessen
- schlecht / zu dunkel
je nach Szenario
andere (bedingte
Antwort
C: Nachfrage zur Farbe der Lichtänderungen
5%
31%
64%
Farbe gut
andere Farbe
bedingte Antwort
Bedingte Antwort F8 C (5 %):
10%
30%
60%
Rot
Grün
Gelb
F9: Gesamtfavorit beim automatischen Fahren



F10: Konnte die Lichtänderung Ihre Aufmerksamkeit vom Innenraum (direkt) nach außen auf die Fahrsituation lenken?



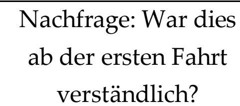
Bedingte Antworten F10 (12 %):

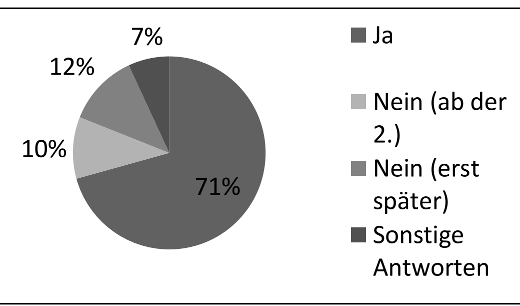
Blinken besser:
„Beim Blinken sofort klar; beim Lauflicht eher Licht angeschaut"
„Beim Blinken ja; beim Lauflicht bei der Kiste nicht so"

Lauflichter besser:
„Manchmal ja - manchmal erst auf die Lichter geschaut; das war vor allem bei den Blinklichtern"
„Blinken konnte schnell meine Aufmerksamkeit lösen, aber nur langsam wieder auf das Fahrgeschehen lenken; Bei Lauflichtern einfacher"
„Blinken hat eher abgelenkt -> Schreckmoment"

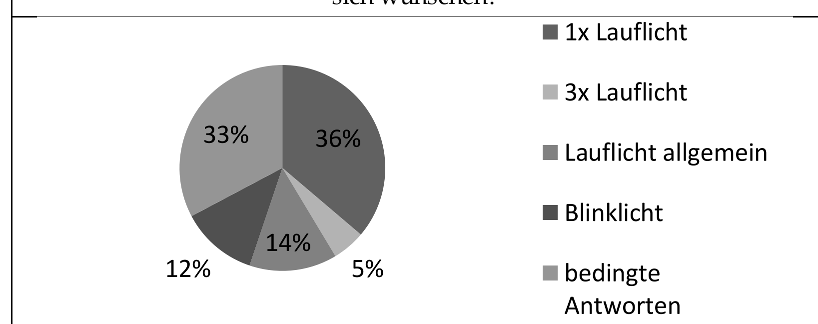

„Blinklichter an der Seite haben etwas verwirrt; Lauflichter besser“

Sonstige:
„Bei manuell ja; bei automatisierter Fahrt eher nein“


Nachfrage: War dies ab der ersten Fahrt verständlich?



F11: Wenn Sie sich eine ambiente Innenraumbeleuchtung zulegen würden. Welche Variante der vorgeführten Lichtänderungen würden Sie sich wünschen?



B.4 STUDIE D

B.4.1 ANHANG ZUR METHODE

Subjektiver Fragebogen Hindernis

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen zu der eben erlebten Fahrsituation. Beantworten Sie alle Fragen spontan und ehrlich. Denken Sie daran, dass es keine richtigen und falschen Antworten gibt. Nur Ihre persönliche Meinung zählt. Wir testen nicht Sie, sondern das Assistenzsystem.

Wie kritisch schätzen Sie die eben erlebte Begegnung mit dem Hindernis ein?

gar nicht			etwas			durch-schnittlich			stark			sehr stark		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Haben Sie einen Hinweis des Assistenzsystems wahrgenommen?

□ Ja □ Nein

Falls ja: Es fiel mir leicht, den Hinweis des Assistenzsystems wahrzunehmen.

lehne stark ab			lehne ab			unentschieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Falls ja: Durch den Hinweis des Assistenzsystems wurde meine Aufmerksamkeit schnell auf das Hindernis gelenkt.

lehne stark ab			lehne ab			unentschieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Falls ja: Durch den Hinweis des Assistenzsystems wurde meine Aufmerksamkeit vom Hindernis abgelenkt.

lehne stark ab			lehne ab			unentschieden			stimme zu			stimme stark zu		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Vielen Dank.

Bitte wenden Sie sich nun an die Versuchsleitung.

Subjektiver Fragebogen Bewertung

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen zu der eben erlebten Fahrsituation. Beantworten Sie alle Fragen spontan und ehrlich. Denken Sie daran, dass es keine richtigen und falschen Antworten gibt. Nur Ihre persönliche Meinung zählt. Wir testen nicht Sie, sondern das Assistenzsystem.

Bitte schätzen Sie Ihr empfundenes Maß an Beanspruchung während der Fahrt mit dem Assistenzsystem* ein.

*kommt in Baseline raus

Beanspruchung	gering					hoch
Aufwand an mentaler Aufmerksamkeit *Wie sehr wurde ihre Aufmerksamkeit im Hinblick auf nachdenken, entscheiden, beachten etc. gefordert?*	0	1	2	3	4	5
Visuelle Beanspruchung *Wie sehr wurden Sie visuell beansprucht?*	0	1	2	3	4	5
Auditive Beanspruchung *Wie sehr wurden Sie auditiv beansprucht?*	0	1	2	3	4	5
Verursachter Zeitdruck *Wie sehr standen Sie unter Zeitdruck?*	0	1	2	3	4	5

Interferenz zwischen Fahraufgabe & Hinweis *Wie sehr hat Sie der Hinweis beim Fahren behindert?*	0	1	2	3	4	5
Verursachter Stress *Wie sehr standen Sie unter Stress?*	0	1	2	3	4	5

Bitte bewerten Sie das erlebte Assistenzsystem. Lesen Sie hierfür jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

Ich finde das Assistenzsystems…						
nützlich	□	□	□	□	□	nutzlos
angenehm	□	□	□	□	□	unangenehm
schlecht	□	□	□	□	□	gut
nett	□	□	□	□	□	nervig
effizient	□	□	□	□	□	unnötig
ärgerlich	□	□	□	□	□	erfreulich
hilfreich	□	□	□	□	□	wertlos
nicht wünschenswert	□	□	□	□	□	wünschenswert
aktivierend	□	□	□	□	□	einschläfernd

Bitte bewerten Sie Ihre momentane Müdigkeit, indem Sie den Kreis vor der entsprechenden Zahl markieren. Benutzen Sie auch die Zwischenstufen.

1 = sehr wach

2

3 = wach

4

5 = weder wach noch müde

6

7 = Müde, aber keine Probleme wach zu bleiben

8

9 = sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Vielen Dank.

Bitte wenden Sie sich nun an die Versuchsleitung.

Abschlussinterview

- Bringen Sie zunächst die drei Fahrten (Fahrt ohne System, Fahrt mit Display-Funktion im Kombiinstrument, Fahrt mit der erweiterten Funktion in der ambienten Beleuchtung) jeweils in eine Rangreihenfolge indem Sie Platz 1 bis Platz 3 festlegen.

1. Welche Fahrt war in Ihren Augen *am komfortabelsten*? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.
2. Welche Fahrt *fühlte* sich für Sie *am sichersten* an? Würden Sie hier die gleiche Rangreihenfolge vergeben oder eine andere? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

3. Welche Fahrt hat Ihnen *insgesamt am besten* gefallen? Würden Sie hier die gleiche Rangreihenfolge vergeben oder eine andere? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

- Bitte erinnern Sie sich nun an Ihre Fahrt mit der erweiterten Funktion in der ambienten Beleuchtung und beantworten Sie mir bitte die folgenden Fragen.

4. Was gefällt Ihnen an der erweiterten Funktion der ambienten Beleuchtung?

5. Was stört Sie an der erweiterten Funktionalität der ambienten Beleuchtung und was könnte man besser machen?

6. War die Lichtänderung in der ambienten Beleuchtung besser oder schlechter als die Display-Funktion im Kombiinstrument geeignet um Ihre Aufmerksamkeit auf das Hindernis zu lenken? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

7. Wie finden Sie den Zeitpunkt, zu dem die Lichtänderung erscheint? Kam die Lichtänderung zu früh, zu spät oder genau zum richtigen Zeitpunkt? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

8. Wie gut hat Ihnen die erweiterte Funktion in der ambienten Beleuchtung insgesamt gefallen?

sehr schlecht			schlecht			neutral			gut			sehr gut		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

9. Würden Sie das System verwenden, wenn es in Ihrem Fahrzeug verbaut wäre? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

10. Haben Sie noch weitere Anmerkungen zu den Systemen?

B.4.2 VERSUCHSLEITERFADEN UND TEILNEHMERPROTOKOLL

Versuchsleiterfaden

Versuchsvorbereitung

ab 17:00 Uhr

Vorbereitungen

Fahrzeug vorbereiten

< ggf. Auftanken >

Fahrzeug auf Parkplatz vor Scirocco-Halle parken

Überprüfen ob Serien- oder Prototypenzustand

< ggf. Prototypenzustand (Night Vision) herstellen – Anweisungen in Fahrzeug folgen >

Zündung starten

Spannungswandler einschalten

Tablet auf Beifahrersitz platzieren, Demografischen Fragebogen auswählen, Vollbildmodus auswählen

Leselampe einschalten

DLab starten, Eyetracking-Brille testen, Calibration Wizard starten

Testgelände vorbereiten

Markierungen überprüfen

Reh-Dummy platzieren

Equipment vorbereiten

Teilnehmerprotokoll kennzeichnen (Vp-Nummer)

Handy lautlos schalten

Wetterbedingungen dokumentieren und Beleuchtungsstärken messen --> Dokumentation in Teilnehmerprotokoll

Funkgeräte: (1) eigener Kanal für Transport Rehdummy einrichten, (2) Funkgerät in Q7 lautlos

ADTF-Skript über Konsole starten (Hinweis: DLab zuerst starten):

cd Desktop

./start_adtf.sh

Fehlermeldung: „System program problem detected“ kann ignoriert werden

Fenster, die beim Start von ADTF aufpoppen schließen

grüner „Play“-Button drücken

Im Browser Lesezeichen „Logging Realfahrt“ auswählen

Relevante Daten in Felder eingeben

„Start“ (Hinweis: Überprüfen, ob Eyetracking mit aufgezeichnet wird

Nach Durchgang „Stop“ (Hinweis: Daten werden unter home > logs gespeichert)

ADTF am Ende komplett stoppen über rot-grünen „Power“-Button

Durchführung (VL-Protokoll)

17:30 – 01:00 Uhr

Instruktion zu Beginn der Studie

Datenexport und Sichtung Vortag

Eyetracking-Daten (..\01_Blickdaten)

Fahrdaten (..\02_Fahrdaten)

Audiodateien Nebenaufgabe (..\03_Nebenaufgabe)

Audiodateien Interviews exportieren (..\05_SubjektiveDaten_Interviews)

[Fahrzeug und Pb befinden sich auf Parkplatz vor Scirocco-Halle]

Hinweis, letzte Möglichkeit auf Toilette zu gehen *[ggf. Toiletten in Scirocco-Halle zeigen (nur die beiden hinteren im Gang sind aufgeschlossen)]*

Pb bitten in Fahrzeug einzusteigen

Versuchsleitung nimmt auf Beifahrersitz Platz

[Leselampe Fahrer- / Beifahrersitz an]

[Night Vision an – Uhrzeit im FPK vorgeschaltet]

Vielen Dank, dass Sie an unserer Studie teilnehmen!

Bitte lesen Sie sich zunächst in Ruhe die folgenden Instruktionen durch und unterzeichnen Sie die Einverständniserklärung bevor wir mit dem Versuch beginnen.

Instruktion/Einverständniserklärung vorlegen und unterzeichnen lassen

Während Pb Instruktionen liest, Demografischen FB auf Tablet vorbereiten (Vollbildmodus!) [Versuchspersonennummern nach dem Format **„vp01"** vergeben]

Haben Sie noch Fragen zu der Einverständniserklärung?

Dann möchte ich Sie bitten, nun diesen demografischen Fragebogen ausfüllen.

Ein Hinweis zum Bearbeiten der offenen Aufgaben: Wenn sich die Tastatur im Tablet öffnet uns Sie Ihre Eingabe beendet haben, müssen sie diese wieder über den „Zurück"-Button schließen (und nicht über die Eingabetaste).

Leselampe ausschalten

Demografischer Fragebogen (Tablet)

Tablet in Tasche hinter Beifahrersitz platzieren

Instruktion Eyetracking

Im Rahmen dieses Fahrversuchs möchten wir gerne Ihre Blickbewegungen aufzeichnen.

Daher werden wir Ihnen für die Dauer des Versuchs diese Eyetracking-Brille aufsetzen.

[während dem Aufsetzen] Die Eyetracking-Brille verfügt über zwei Augenkameras, die Ihre Blickbewegungen mit aufzeichnen und einer Szenenkamera, die ihr Sichtfeld mit aufzeichnet.

Nehmen Sie bitte zunächst die Fahrerposition ein und stellen Sie den Sitz so ein, dass Sie bequem sitzen, die Fußpedale sowie das Lenkrad bedienen können und einen guten Blick in Rück- und Seitenspiegel, sowie auf das Kombiinstrument (FPK) und das Armaturenbrett haben.

Aufsetzen Eyetracking-Brille

Check: Brille sitzt fest und gerade und einigermaßen bequem

Check: Leselampe ausgeschaltet?

Versuchsleitung nimmt auf Rücksitz Platz

Einstellen der Maske zur Optimierung der Pupillenerfassung

Hinweis: Augenbewegungen nach oben, unten, links, rechts

Kalibrierung Eyetracking-Brille

Hinweis: Sitzposition Fahren, Blick auf Klemmbrett, Kopf nicht bewegen

Haben Sie noch Fragen zur Brille?

Dann noch ein letzter Hinweis zur Brille: Bitte versuchen Sie sich von dieser Brille möglichst nicht ablenken zu lassen und fahren Sie so, wie Sie es ohne auch ohne die Brille tun würden.

Sollte Sie während der Fahrt das Gefühl haben, dass die Brille verrutscht ist, geben Sie mir bitte einen Hinweis, damit wir eine neue Kalibrierung vornehmen können.

Instruktion Eingewöhnungsfahrt

Wir werden nun zwei Eingewöhnungsfahrten durchführen, damit Sie sich mit dem Fahrzeug und mit den Aufgaben im Versuch vertraut machen können.

Bevor wir damit beginnen einige Informationen über dieses Fahrzeug: Dieser Wagen verfügt über ein Automatikgetriebe. Sind Sie mit Automatikfahrzeugen vertraut? [*falls nein, erläutern]*

Der Wagen ist mit Versuchstechnik ausgestattet, die mit Strom versorgt werden muss. Bitte lassen Sie daher jederzeit den Motor laufen, auch im Parkzustand, damit die Batterie nicht entladen wird.

Haben Sie Fragen zum Fahrzeug?

Dann folgen nun ein paar Informationen zum Gelände: Wir befinden uns hier auf der Dynamikfläche des Prüfgeländes Ehra-Lessin, wo sich außer Ihnen noch weitere Verkehrsteilnehmer befinden können.

Unser Fahrzeug steht gerade auf einem Parkplatz vor der Scirocco-Halle *[zeigen]*, zu dem wir zwischen den Fahrten immer wieder zurückfahren werden.

Wir befahren diesen Parkplatz nur über eine Einfahrt aus dieser Richtung *[zeigen]* und einer Ausfahrt aus dieser Richtung [*zeigen*].

Ihre Aufgabe wird es gleich sein, gemäß meiner Anweisungen den Rundkurs um die Dynamikfläche entlang zu fahren und am Ende wieder hier zu halten.

Der Rundkurs um die Dynamikfläche darf nur entgegen dem Uhrzeigersinn befahren werden [*zeigen*].

Der Rundkurs verfügt über eine zweispurige Fahrbahn. Bitte halten Sie sich während der Fahrten generell an das Rechtsfahrgebot und nehmen Sie nur dann einen Spurwechsel vor, wenn Sie durch mich dazu instruiert werden.

Versuchen Sie während der gesamten Versuchsdauer sicher die Spur zu halten. Halten Sie zudem auf den Geraden nach Möglichkeit eine konstante Geschwindigkeit von 70 km/h und drosseln Sie Ihre Geschwindigkeit in den Kurven entsprechend.

Haben Sie noch Fragen zum Ablauf der Eingewöhnungsfahrt?

Dann dürfen Sie nun mit der Eingewöhnungsfahrt beginnen. Folgen Sie während der Fahrt stets meinen Anweisungen bezüglich der Strecke. Ich werde Ihnen einen Hinweis geben, sobald die Eingewöhnungsfahrt beendet ist.

Bitte starten Sie nun die Eingewöhnungsfahrt, indem Sie den Parkplatz verlassen und anschließend links abbiegen, um auf den Rundkurs zu gelangen.

[sobald Fahrzeug bei Ausfahrt angelangt] Bitte biegen Sie links ab und fahren sie auf der linken Seite an den Leitpfosten entlang.

Eingewöhnungsfahrt eine Runde

Check: Hält Pb Spur und fährt konstant 70km/h?

Instruktionen Spurwechsel während Fahrt

[1] *[bei Schild Dynamikfläche | My-Split]* „Bitte wechseln Sie auf die linke Spur, um auf dem Rundkurs zu bleiben.“

[2] *[in Kurve, nach Fahrbahnverengung]* „Bitte wechseln Sie wieder auf die rechte Spur.“



[sobald Fahrzeug in großer Kurve Hinweis auf Zufahrt zur Scirocco-Halle] Nach dieser Kurve kommt die Einfahrt zur Scirocco-Halle. Bitte halten Sie sich links und folgen Sie der linken Fahrbahnmarkierung, um zurück zur Scirocco-Halle zu gelangen.

[sobald Fahrzeug auf Dynamikfläche in Richtung Scirocco-Halle] Bitte biegen Sie links ab und halten Sie auf dem Pkw-Parkplatz vor der Scirocco-Halle.

[bei Stand Fahrzeug vor der Scirocco-Halle] Die Eingewöhnungsfahrt ist hiermit beendet.

[Fahrzeug befindet sich wieder auf Parkplatz vor Scirocco-Halle]

Instruktion Nebenaufgabe

Während der ersten Eingewöhnungsfahrt konnten Sie sich ausschließlich auf die Fahraufgabe konzentrieren. Während des Versuchs möchte ich Sie bitten, während der Fahrt zusätzlich eine Höraufgabe zu bearbeiten. Diese läuft folgendermaßen ab:

Über das Autoradio werden Ihnen Sätze vorgelesen.

Bitte entscheiden Sie nach jedem Satz, ob es sich dabei um einen inhaltlich sinnvollen oder um einen inhaltlich sinnfreien Satz handelt.

Wenn Sie denken, dass es sich um einen inhaltlich sinnvollen Satz handelt, antworten Sie bitte so schnell wie möglich mit „Ja."

Sind Sie hingegen der Meinung, dass es sich um einen inhaltlich sinnfreien Satz handelt, antworten Sie bitte so schnell wie möglich mit „Nein."

Ein Beispiel für einen inhaltlich sinnvollen Satz lautet: *[ersten Satz abspielen]*

Ein Beispiel für einen inhaltlich sinnfreien Satz lautet: *[zweiten Satz abspielen]*

Das Ziel der Aufgabe besteht darin, bei jedem Satz so schnell wie möglich zu entscheiden, ob dieser sinnvoll oder sinnfrei ist.

Bitte versuchen Sie die Aufgabe während der Fahrten so gut wie möglich zu bearbeiten, da wir Ihre Leistung mit aufzeichnen werden.

Damit Sie sich mit der Aufgabe vertraut machen können, haben Sie nun die Gelegenheit einen kurzen Probedurchgang im Stand zu absolvieren.

Haben Sie vorab noch Fragen zur Höraufgabe?

Dann folgen nun vier Beispielsätze. Bitte entscheiden Sie so schnell wie möglich, ob es sich dabei um inhaltlich sinnvolle oder inhaltlich sinnfreie Sätze handelt.

Darbietung 4 Beispielsätze*[abspielen]*

Haben Sie nach dem Probedurchgang noch Fragen zur Höraufgabe?

Nachdem Sie die Aufgabe nun einmal im Stand bearbeitet haben, wollen wir diese während der Fahrt ausprobieren.

Bitte fahren Sie ein weiteres Mal entlang des Rundkurses und versuchen Sie auf mein Kommando die Höraufgabe während der Fahrt zu bearbeiten.

Dabei liegt die oberste Priorität stets auf der Fahraufgabe selbst und Ihrer eigenen Sicherheit. Bearbeiten Sie daher die Höraufgabe so gut es geht, jedoch nur, sofern die Bearbeitung für Sie kein Sicherheitsrisiko darstellt.

Versuchen Sie während der Bearbeitung so gut wie möglich die Spur und die vorgegebene Geschwindigkeit von 70 km/h zu halten und eine möglichst gute Leistung in der Höraufgabe zu erzielen.

Ich werde Ihnen einen Hinweis geben, wenn die Einfahrt zur Dynamikfläche in Sichtweite kommt und wir zur Scirocco-Halle zurückfahren.

Bitte starten Sie nun die Eingewöhnungsfahrt, indem Sie den Parkplatz verlassen und anschließend links abbiegen, um auf den Rundkurs zu gelangen.

[sobald Fahrzeug bei Ausfahrt angelangt] Bitte biegen Sie links ab und fahren sie auf der linken Seite an den Leitpfosten entlang.

Eingewöhnungsfahrt mit NA eine Runde

Hinweis an Pb: Möglichkeit Lautstärke einzustellen

Check: Hält Pb Spur und fährt konstant 70km/h? *[ggf. Hinweis geben]*

Check: Ist Höraufgabe verstanden worden? (größtenteils richtige Antworten des Pb?) *[ggf. Hinweis geben]*

Instruktionen Spurwechsel während Fahrt [1] *[bei Schild Dynamikfläche ǀ My-Split]* „Bitte wechseln Sie auf die linke Spur, um auf dem Rundkurs zu bleiben.“ [2] *[in Kurve, nach Fahrbahnverengung]* „Bitte wechseln Sie wieder auf die rechte Spur.“	

Konfrontation mit Hindernis auf zweiter Geraden (Warnung durch Ambientelichtsystem) - weiterfahren

[Sobald Fahrzeug in großer Kurve Hinweis auf Zufahrt zur Scirocco-Halle] Nach dieser Kurve kommt die Einfahrt zur Scirocco-Halle. Bitte folgen Sie der linken Fahrbahnmarkierung, um zurück zur Scirocco-Halle zu gelangen.

[sobald Fahrzeug auf Dynamikfläche in Richtung Scirocco-Halle] Bitte biegen Sie links ab und halten Sie auf dem Pkw-Parkplatz.

[Fahrzeug wieder auf Parkplatz vor Scirocco-Halle]

Das war die Eingewöhnungsfahrt mit der Höraufgabe.

Bevor mit dem eigentlichen Fahrversuch beginnen, möchte ich Ihnen ein paar Fragen zu der Fahrt stellen.

Interviewfragen zu überraschendem Hindernis Stellen - Teilnehmerprotokoll FB I

Instruktion vor erster Fahrt

Nachdem Sie sich nun mit dem Fahrzeug und mit der Höraufgabe vertraut gemacht haben, beginnen wir mit dem eigentlichen Fahrversuch.

Dieser besteht insgesamt aus drei Fahrten, wobei Sie eine der Fahrten ohne Fahrerassistenzsystem und die anderen Fahrten mit zwei unterschiedlichen Fahrerassistenzsystemen absolvieren werden.

[falls Ja in FB I, Frage 2] Eines der beiden Systeme haben Sie während der zweiten Eingewöhnungsfahrt bereits kennen gelernt.

Ich möchte Ihnen jetzt beide Systeme [*falls „Ja" in FB I, Frage 2:* noch einmal] demonstrieren, bevor wir mit dem Versuch beginnen.

[*falls Ja in FB I, Frage 2* Bereits kennengelernt] haben Sie die **zusätzliche Funktionalität in der ambiente Beleuchtun**g, welche Sie auf relevante Hindernisse auf der Fahrbahn oder am Fahrbahnrand während der Fahrt hinweist. Auf der LED Leiste treten richtungsverortete Lichtänderungen auf, sofern sich Hindernisse auf der Fahrbahn oder am Fahrbahnrand befinden. *[Demonstrieren]*

Ebenfalls erläutern möchte ich Ihnen die **Display-Funktion im Kombiinstrument**, welche Sie auf relevante Hindernisse auf der Fahrbahn oder am Fahrbahnrand während der Fahrt hinweist. Die Funktionalität lässt sich durch Drücken der rechten Pfeiltaste am Lenkrad einschalten. Im Display wird die nähere Umgebung als Schwarz-Weiß-Bild dargestellt. Sofern ein Hindernis am Fahrbahnrand auftritt wird dieses farblich auf dem Display markiert und es erscheint ein Warnton. *[Demonstrieren mit Video]*

Jede Fahrt besteht aus mehreren Runden entlang des Rundkurses, wobei ich Ihnen jeweils Bescheid geben werde, sobald eine Fahrt beendet ist. Wie in den Eingewöhnungsfahrten, werde ich Ihnen rechtzeitig einen Hinweis geben, wenn wir zurück zur Scirocco-Halle fahren.

Versuchen Sie während der Fahrt so gut wie möglich die Spur und die vorgegebene Geschwindigkeit von 70 km/h zu halten und passen Sie Ihre Geschwindigkeit in den Kurven entsprechend an.

Halten Sie sich während der Fahrten generell an das Rechtsfahrgebot und nehmen Sie nur dann einen Spurwechsel vor, wenn Sie durch mich dazu instruiert werden.

Während der Fahrten werden Sie auf mein Kommando die Höraufgabe bearbeiten.

Versuchen Sie eine möglichst gute Leistung bei der Aufgabenbearbeitung zu erreichen, da wir diese per Audioaufnahme aufzeichnen und ihre Leistung auswerten werden.

Ihre Aufgabe während der Fahrten wird zudem darin bestehen, mögliche Hindernisse am Fahrbahnrand so schnell wie möglich zu erkennen.

Sobald Sie ein Hindernis erkannt haben betätigen Sie bitte so schnell wie möglich die Joker-Taste am Lenkrad *[zeigen]*.

Damit signalisieren Sie, dass Sie ein Hindernis erkannt haben und ich werde Ihnen im Anschluss einige Fragen zu der Situation stellen.

Wichtig ist, dass Sie die Joker-Taste erst dann drücken, wenn Sie das Hindernis außerhalb des Fahrzeugs wahrnehmen.

Haben Sie noch Fragen zum Ablauf des Fahrversuchs?

Zur Unterstützung während der folgenden Fahrt werde ich für Sie… *[System nach Randomisierungsplan]*

…die **Display-Funktion im Kombiinstrument** einschalten.

…die **zusätzliche Funktionalität in der ambiente Beleuchtung** einschalten.

…alle Funktionen ausschalten.

ADTF starten

Check: Richtige Bedingung ausgewählt (experimental, normal, deaktiviert)?

Check: Richtige Straßenseite für die Warnung ausgewählt?

Bitte starten Sie nun die Fahrt, indem Sie den Parkplatz verlassen und anschließend links abbiegen, um auf den Rundkurs zu gelangen.

[sobald Fahrzeug bei Ausfahrt angelangt] Bitte biegen Sie links ab und fahren sie auf der linken Seite an den Leitpfosten entlang.

[sobald Pb auf Rundkurs, Ende Leitpfosten] Bitte bearbeiten Sie ab jetzt die Höraufgabe.

[sobald Pb auf Rundkurs] **Audioaufnahme starten**

[danach] **Nebenaufgabe starten**

Bei erkanntem Hindernis

Check: Hat Proband Joker-Taste gedrückt?

Über Tastendruck haben Sie angegeben, dass Sie ein Hindernis am Fahrbahnrand wahrgenommen haben. Bitte fahren Sie in der nächsten Kurve links in die Haltebucht und halten Sie dort kurz an, damit ich Ihnen ein paar Fragen zur erlebten Fahrsituation stellen kann.

[Fahrzeug steht links am Fahrbahnrand / in Haltebucht in der Kurve]

Nebenaufgabe stoppen

Audioaufnahme stoppen

ADTF stoppen

[Hindernis wird zum nächsten Einsatzpunkt gefahren]

Tablet: Subjektiven Fragebogen auswählen und Vp-Nummer (Format: „vp01“ und Bedingung (AB vs. NV vs. BL), Nummer Hindernis (1. vs. 2.) und Seite Hindernis (links vs. rechts) eingeben, über Tastatur Vollbildmodus einstellen

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen zur erlebten Fahrsituation.

Tablet an Pb übergeben

Während Pb Fragebogen bearbeitet, ADTF-Einstellungen für nächsten Durchgang vornehmen

Tablet in Tasche hinter Beifahrersitz platzieren

Sie dürfen nun wieder losfahren.

Versuchen Sie während der Fahrt so gut wie möglich die Spur und die vorgegebene Geschwindigkeit von 70 km/h zu halten und passen Sie Ihre Geschwindigkeit in den Kurven entsprechend an. Halten Sie sich während der Fahrten generell an das Rechtsfahrgebot und nehmen Sie nur dann einen Spurwechsel vor, wenn Sie durch mich dazu instruiert werden.

Bitte beantworten Sie auf mein Kommando die Höraufgabe.

Sobald Sie ein Hindernis am Fahrbahnrand entdecken, drücken Sie so schnell wie möglich die Joker-Taste am Lenkrad.

[nach 3 Runden, Rückfahrt zu Scirocco-Halle – VL zählt mit und hakt ab auf Streckenprotokoll]

[Sobald Fahrzeug in großer Kurve Hinweis auf Zufahrt zur Scirocco-Halle] Bitte folgen Sie der linken Fahrbahnmarkierung, um zurück zur Scirocco-Halle zu gelangen.

[sobald Fahrzeug auf Dynamikfläche in Richtung Scirocco-Halle] Bitte biegen Sie links ab und halten Sie auf dem Pkw-Parkplatz.

[Fahrzeug wieder auf Parkplatz vor Scirocco-Halle]

Instruktion vor zweiter / dritter Fahrt

Vielen Dank das war die [erste / zweite] Fahrt.

Bitte beantworten Sie ein paar Fragen zu dieser Fahrt.

Tablet: Subjektiven Fragebogen Bewertung auswählen und Vp-Nummer (Format: „vp01“) und Bedingung eingeben, Vollbildmodus starten

Dann folgt nun die nächste Fahrt.

Zur Unterstützung während der folgenden Fahrt werde ich für Sie… *[siehe Randomisierungsplan]*

…die **Display-Funktion im Kombiinstrument** einschalten.

…die **zusätzliche Funktionalität in der ambiente Beleuchtung** einschalten.

…alle Funktionen ausschalten.

Versuchen Sie während der Fahrt so gut wie möglich die Spur und die vorgegebene Geschwindigkeit von 70 km/h zu halten und passen Sie Ihre Geschwindigkeit in den Kurven entsprechend an. Halten Sie sich während der Fahrten generell an das Rechtsfahrgebot und nehmen Sie nur dann einen Spurwechsel vor, wenn Sie durch mich dazu instruiert werden.

Bitte bearbeiten Sie auf mein Kommando die Höraufgabe und versuchen Sie eine möglichst gute Leistung zu erzielen.

Sobald Sie ein Hindernis am Fahrbahnrand entdecken, drücken Sie so schnell wie möglich die Joker-Taste am Lenkrad. Bitte drücken Sie die Joker-Taste

immer erst dann, wenn Sie das Hindernis außerhalb des Fahrzeugs wahrgenommen haben.

ADTF starten

Check: Richtige Bedingung ausgewählt (experimental, normal, deaktiviert)?

Check: Richtige Straßenseite für die Warnung ausgewählt?

Bitte starten Sie nun die Fahrt, indem Sie den Parkplatz verlassen und anschließend links abbiegen, um auf den Rundkurs zu gelangen.

[sobald Fahrzeug bei Ausfahrt angelangt] Bitte biegen Sie links ab und fahren sie auf der linken Seite an den Markierungen entlang.

[sobald Pb auf Rundkurs, Ende Leitpfosten] Bitte bearbeiten Sie ab jetzt die Höraufgabe.

[sobald Pb auf Rundkurs] **Audioaufnahme starten**

[danach] **Nebenaufgabe starten**

[Wiederholung der Fahrten solange bis 3 Fahrten absolviert]

[Fahrzeug steht vor Scirocco-Halle]

Abschlussinterview

[Versuchsleitung nimmt auf Beifahrersitz Platz, hilft Pb Eyetrackin-Brille abzusetzen, Skalen für Interview bereit halten]

Sie haben soeben die letzte Versuchsfahrt beendet.

Zum Abschluss habe ich noch einige offene Fragen an Sie, die uns helfen sollen die, in dieser Untersuchung getesteten Assistenzsysteme, kontinuierlich weiter zu verbessern.

Beantworten Sie wie gehabt alle Fragen spontan und ehrlich. Denken Sie daran, dass es keine richtigen und falschen Antworten gibt. Nur Ihre persönliche Meinung zählt. Wir testen nicht Sie, sondern die Assistenzsysteme.

Zur Protokollierung und Auswertung des Interviews werde ich nun erneut die Audioaufnahme starten.

Audioaufnahme starten

Sie haben gerade drei Fahrten absolviert, bei denen Hindernisse am Fahrbahnrand aufgetaucht sind.

Während dieser Fahrten wurden Sie entweder durch eine Display-Funktion im Kombiinstrument, durch eine erweiterte Funktion in der ambiente Beleuchtung oder durch kein System unterstützt.

Bitte denken Sie bei der Beantwortung der folgenden Fragen an die drei Fahrten zurück.

Bringen Sie zunächst die drei Fahrten (Fahrt ohne System, Fahrt mit Display-Funktion im Kombiinstrument, Fahrt mit der erweiterten Funktion in der ambiente Beleuchtung) jeweils in eine Rangreihenfolge indem Sie Platz 1 bis Platz 3 festlegen.

Welche Fahrt war in Ihren Augen *am komfortabelsten*? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

Welche Fahrt *fühlte* sich für Sie *am sichersten* an? Würden Sie hier die gleiche Rangreihenfolge vergeben oder eine andere? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

Welche Fahrt hat Ihnen *insgesamt am* ***besten*** gefallen? [Würden Sie hier die gleiche Rangreihenfolge vergeben oder eine andere?] Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

Bitte erinnern Sie sich nun an Ihre Fahrt mit der erweiterten Funktion in der ambiente Beleuchtung und beantworten Sie mir bitte die folgenden Fragen.

Was gefällt Ihnen an der erweiterten Funktion der ambiente Beleuchtung?

Explizit fragen nach:

Im Vergleich mit den anderen System

Bzgl. Funktionalität

Bzgl. Design (Größe, Helligkeit, Farbkombination, Animation)

Was stört Sie an der erweiterten Funktionalität der ambiente Beleuchtung und was könnte man besser machen?

Explizit fragen nach:

(Im Vergleich mit den anderen Systemen)

Bzgl. Funktionalität

Bzgl. Design (Größe, Helligkeit, Farbkombination, Animation)

War die Lichtänderung in der ambiente Beleuchtung besser oder schlechter als die Display-Funktion im Kombiinstrument geeignet um Ihre Aufmerksamkeit auf das Hindernis zu lenken? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

Wie finden Sie den Zeitpunkt zu dem die Lichtänderung erscheint? Kam die Lichtänderung zu früh, zu spät oder genau zum richtigen Zeitpunkt? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

Wie gut hat Ihnen die erweiterte Funktion in der ambiente Beleuchtung insgesamt gefallen?

Skala zeigen

Würden Sie das System verwenden, wenn es in Ihrem Fahrzeug verbaut wäre? Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung.

Vielen Dank. Das waren alle Fragen von meiner Seite zu den Systemen.

Haben Sie noch weitere Anmerkungen zu den Systemen?

Zum Abschluss möchte ich Ihnen noch ein paar Fragen zum allgemeinen Versuchsablauf stellen.

Dabei geht es um die kontinuierliche Verbesserung unserer Studien.

Bitte antworten Sie immer spontan und ehrlich. Denken Sie daran, dass es keine richtigen und falschen Antworten gibt. Nur Ihre persönliche Meinung zählt.

Wie empfanden Sie die Schwierigkeit der Aufgabenstellung in der Studie?

Skala zeigen

Wie sehr haben Sie die Messaufbauten im Versuchsfahrzeug abgelenkt?

Skala zeigen

Hatten Sie das Gefühl, dass das Auftreten oder Nicht-Auftreten der Hindernisse nach einer bestimmten Systematik verlief? *Falls ja:* Welche Systematik haben Sie wahrgenommen?

Falls ja in 17: Hat sich Ihr Verhalten verändert, dadurch dass Sie mit dem systematischen Auftreten der Hindernisse gerechnet haben? *Falls ja:* Inwiefern?

Haben Sie bereits an einer ähnlichen Studie teilgenommen? Falls ja, worin bestand die Ähnlichkeit?

Waren Sie vor der Teilnahme an dieser Studie bereits auf der großen Dynamikfläche in Ehra? *Falls ja:* Was haben Sie hier gemacht?

Möchten Sie uns sonst noch etwas mitteilen, was Ihnen beim Versuch aufgefallen ist?

Vielen Dank. Das war meine letzte Frage.

Der Fahrversuch ist hiermit beendet. Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

Als Dankeschön haben wir noch ein Geschenk für Sie.

Probandengeschenk überreichen

Wir bringen Sie jetzt wieder zum Ausgang des Testgeländes.

Pb zum Ausgang fahren

Nachbereitungen

ab 01:00 Uhr

Nach jedem Pb	*Nach jedem Abend*
Pb zum Ausgang fahren	**Equipment**
Eyetracking-Brille säubern	Tablet laden (im Q7)
Wetterbedingungen dokumentieren und Beleuchtungsstärken im Fahrzeug messen und in Teilnehmerprotokoll für folgenden Probanden vermerken	Leselampen laden (im Q7) Reh-Dummies in Carport hinter Scirocco-Halle (D16C) abstellen und Akkus aufladen
	Fahrzeug

ADTF stoppen über rot-grünen „Power“-Button

Überprüfen, ob ADTF-/Eyetracking-Daten erfolgreich aufgezeichnet wurden

Laptops ausschalten

Spannungswandler ausschalten

< beim Verlassen des Geländes Serienzustand wiederherstellen – siehe Anweisungen in Fahrzeug >

Q7 auf Parkplatz an Carport abstellen und aufladen

Teilnehmerprotokoll

Rahmenbedingungen

VP-Nr.: _____

Wetterbedingungen: □ Regen □ Schnee □ klarer Himmel □ ____________________

Beleuchtungsstärken (Uhrzeit Messung: _____): Dach Fahrzeug: ______ Armaturenbrett: _______

Anmerkungen Versuchsleitung während der Durchführung:

____

I. Interview nach überraschender Begegnung mit Hindernis

Ist Ihnen während der Fahrt etwas aufgefallen?

□ Nein □ Ja, Hindernis □ Ja, Hindernis & Hinweis

□ ____

Falls nicht in 1: Haben Sie einen Hinweis wahrgenommen?

□ Ja □ Nein

Falls Ja in 2: Welche Bedeutung hatte Ihrer Meinung nach der Hinweis?

□ Warnung □ Assistenzsystem □

II. Abschlussinterview

Rangreihe
Komfort Begründung

1. _______ ____

2. _______ ____

3. _______ ____

Rangreihe
Sicherheit

1. _______ Begründung

2. _______ ____

3. _______ ____

Rangreihe ____
Beste

1. _______ Begründung

2. ________ ____

3. ________ ____

____

Ambientelicht positiv

____

Ambientelicht negativ

____

Aufmerksamkeitslenkung Ambientelicht vs. Night Vision

□ besser □ schlechter □ gleich

Zeitpunkt Lichtfunktion

□ zu früh □ zu spät □ genau richtig

Gefallen gesamt

sehr schlecht			schlecht			neutral			gut			sehr gut		
-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Verwendung System

□ Ja □ Nein □ Ja, situationsbedingt: ____

Begründung: ____

Weitere Anmerkungen Systeme

____

Schwierigkeit Aufgabenstellung

gar nicht schwierig	schwierig	teils/teils	leicht	sehr leicht
○	○	○	○	○

Ablenkung Messaufbauten

gar nicht abgelenkt	nicht abgelenkt	teils/teils	abgelenkt	sehr abgelenkt
○	○	○	○	○

Systematik Hindernisse

□ Ja □ Nein

____

Verhaltensänderung Systematik Hindernisse

□ Ja □ Nein

Teilnahme ähnlichen Studie

□ Ja □ Nein

Teilnahme an Studien auf Dynamikfläche

□ Ja □ Nein

Anmerkungen Studie: ____

B.4.3 VERSUCHSABLAUFPLAN

	Erläuterung	Zeit in min.
I.	Abholen der Probanden	5:00
II.	Begrüßung auf dem Testgelände	
	Einverständniserklärung Demografischer Fragebogen Instruktion + Kalibrierung Eyetracking	5:00 10:00 5:00
III.	Eingewöhnungsfahrten	
	Instruktion Eingewöhnungsfahrt Fahrzeug Eingewöhnungsfahrt Fahrzeug und Strecke (Spurwechsel) Instruktion Eingewöhnungsfahrt Nebenaufgabe Eingewöhnungsfahrt Nebenaufgabe Interview intuitives Verständnis	3:00 5:00 2:00 5:00 5:00
IV.	Versuch	
	Demonstration Systeme Instruktion Fahrversuch Fahrt 1	10:00 10:00 16:00

	Fahrt 2 Fahrt 3 Fragebogen (6 x 5:00)	16:00 16:00 30:00
V.	Abschlussinterview	15:00
VI.	Wegbringen der Probanden	5:00
Summe ca. 163 Minuten		

SPEKTRUM DER LICHTTECHNIK

Lichttechnisches Institut Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

ISSN 2195-1152

Band 1 Christian Jebas
Physiologische Bewertung aktiver und passiver Lichtsysteme im Automobil. 2012
ISBN 978-3-86644-937-4

Band 2 Jan Bauer
Effiziente und optimierte Darstellungen von Informationen auf Grafikanzeigen im Fahrzeug. 2013
ISBN 978-3-86644-961-9

Band 3 Christoph Kaiser
Mikrowellenangeregte quecksilberfreie Hochdruckgasentladungslampen. 2013
ISBN 978-3-7315-0039-1

Band 4 Manfred Scholdt
Temperaturbasierte Methoden zur Bestimmung der Lebensdauer und Stabilisierung von LEDs im System. 2013
ISBN 978-3-7315-0044-5

Band 5 André Domhardt
Analytisches Design von Freiformoptiken für Punktlichtquellen. 2013
ISBN 978-3-7315-0054-4

Band 6 Franziska Herrmann
Farbmessung an LED-Systemen. 2014
ISBN 978-3-7315-0173-2

Band 7 Simon Wendel
Freiform-Optiken im Nahfeld von LEDs. 2014
ISBN 978-3-7315-0251-7

Band 8 Carmen Kettwich
Ablenkung im Straßenverkehr und deren Einfluss auf das Fahrverhalten. 2014
ISBN 978-3-7315-0288-3

Die Bände sind unter www.ksp.kit.edu als PDF frei verfügbar oder als Druckausgabe bestellbar.

Band 9 Steffen Michenfelder
Konzeption, Realisierung und Verifikation eines automobilen Forschungsscheinwerfers auf Basis von Digitalprojektoren. 2015
ISBN 978-3-7315-0301-9

Band 10 Celal Mohan Ögün
Surface wave driven molecular low pressure plasmas for general lighting. 2016
ISBN 978-3-7315-0464-1

Band 11 Theresa Bonenberger
LED Farbmischung mit chaotischen Lichtleitern. 2016
ISBN 978-3-7315-0480-1

Band 12 Michael Schöne
Diffraktive Optiken im Automobil: Achromatisierung, Athermalisierung, Formung von Scheinwerferlichtverteilungen. 2017
ISBN 978-3-7315-0613-3

Band 13 Tobias Werner
Simulation, Aufbau und Charakterisierung von autostereoskopischen Display-Systemen im Fahrzeugbereich. 2017
ISBN 978-3-7315-0617-1

Band 14 Christian Herbold
Entwicklung und Herstellung naturähnlich verzweigter Kühlkörper für LED-Systeme. 2017
ISBN 978-3-7315-0635-5

Band 15 Carsten Gut
Laserbasierte hochauflösende Pixellichtsysteme. 2018
ISBN 978-3-7315-0710-9

Band 16 Annie Shalom Samji Isaac Chandra
Intelligent Freeform Deformation for LED Illumination Optics. 2018
ISBN 978-3-7315-0741-3

Band 17 Ingo Rotscholl
Spectral near field data of LED systems for optical simulations. 2018
ISBN 978-3-7315-0750-5

Band 18 Inca Leopoldo Sayanca
Sensorfusion zur Kompensation von Messfehlern bei kamerabasierter Farbverteilungsmessung. 2018
ISBN 978-3-7315-0830-4

Band 19 Benjamin Schulz
Weiterentwicklung der Beleuchtungseinheit LED-basierter Projektionssysteme. 2019
ISBN 978-3-7315-0865-6

Band 20 Said Omerbegovic
Prädiktive Lichtfunktionen für volladaptive Scheinwerfersysteme. 2019
ISBN 978-3-7315-0875-5

Band 21 Patric Jahn
Bewertungsmodell zur Evaluation hochauflösender, lichtbasierter Fahrerassistenzsysteme. 2020
ISBN 978-3-7315-1009-3

Band 22 Maximilian Barthel
Aufmerksamkeitslenkung mithilfe Innenraumbeleuchtung im Automobil. 2020
ISBN 978-3-7315-1011-6

Die Bände sind unter www.ksp.kit.edu als PDF frei verfügbar oder als Druckausgabe bestellbar.

Lichttechnisches Institut
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

SPEKTRUM DER LICHTTECHNIK

Diese Arbeit thematisiert die Untersuchung und Entwicklung einer neuen Lichtfunktion mit Hilfe der Innenraumbeleuchtung im Automobil. Die in aktuellen Fahrzeugen verbaute Innenraumbeleuchtung wird durch eine Animation erweitert und ruft damit eine Aufmerksamkeitslenkung des Fahrers hervor. Die Entwicklung der Funktion wird unter Berücksichtigung der Grundlagen der Wahrnehmungspsychologie beschrieben. Die Ausgestaltung im manuellen sowie im automatischen Fahren und der Weiterentwicklung der Lichtfunktion wird mithilfe mehrerer Probandenstudien im Simulator und im Realfahrzeug dargelegt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen das hohe Potential und geeignete Anwendungsszenarien für eine funktionale Innenraumbeleuchtung.

ISBN 978-3-7315-1011-6

9 783731 510116 >

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2195-1152
ISBN 978-3-7315-1011-6